Anno LVII
Numero 3
Dicembre 2008

Rai Eri

Editoriale

Super Hi-Vision a IBC 2008
Riceve lo Special Award

DVB-T2
A Torino, il primo esperimento di diffusione in Italia

DVB-T2
la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre

Elettronica e telecomunicazioni

Anno LVII
N° 3
Dicembre 2008

Rivista quadrimestrale a cura della Rai

indice

Editoriale

ing. Gianfranco **Barbieri**
Direttore di
"Elettronica e Telecomunicazioni"

L'anno 2009 rappresenterà una tappa di portata rilevante nello sviluppo della televisione in Italia. In base al Decreto firmato dal Ministro dello Sviluppo Economico il 10 settembre scorso, cinque regioni, oltre al Piemonte Occidentale, si affiancheranno alla Sardegna nel passaggio alla TV Digitale Terrestre. Il decreto prevede inoltre una transizione progressiva nelle altre regioni italiane a partire dal secondo semestre del 2009 fino al secondo semestre del 2012. Si tratta di un programma ambizioso che nei prossimi due anni coinvolgerà oltre il 70% della popolazione italiana collocando l'Italia tra i Paesi più avanzati verso il traguardo europeo del 2012.

L'abbandono della convenzionale TV analogica apre le porte ad un rinnovamento radicale del Sistema Radiotelevisivo. L'impatto più immediato lo si avvertirà nella completa integrazione dei servizi radiotelevisivi nel più vasto comparto della multimedialità: la convergenza delle tecnologie, già avviata da qualche anno tra telecomunicazioni ed informatica, riceverà a questo punto un nuovo impulso. Le potenzialità delle tecnologie digitali lasciano, inoltre, prevedere ulteriori evoluzioni nello sviluppo di standard nuovi e più sofisticati. Nell'arco di poco più di un anno si è assistito allo sviluppo di schermi piatti "Full HD" e le previsioni danno per probabile la commercializzazione dei primi decoder ad Alta Definizione entro uno o due anni.

Un progetto di collaborazione che vede oggi impegnati NHK, BBC e Rai mira allo sviluppo della Super Hi-Vision (SHV), uno standard che, con un potere di risoluzione 16 volte superiore a quello della HDTV e l'audio diffuso attraverso 24 canali posizionati su tre diversi piani sonori, si propone di aumentare l'effetto di coinvolgimento scenico dando all'utente la percezione di totale immersione nella realtà. Il contributo Rai al progetto è focalizzato sullo sviluppo delle tecnologie di diffusione della SHV: la prima diffusione satellitare si è svolta lo scorso settembre in occasione dell'IBC 2008 ad Amsterdam, utilizzando il sistema DVB-S2 sviluppato in ambito DVB, sotto la guida del Centro Ricerche Rai. Alla "Prima trasmissione internazionale di contenuti Super Hi-Vision" è stato assegnato il premio "IBC Special Award"

Per sua tradizione culturale, la comunità dei radiodiffusori non si limita mai a concentrare i suoi sforzi nell'implementazione dei servizi attuali ma investe risorse nella ricerca e sperimentazione delle tecnologie che saranno commercialmente disponibili nel prossimo futuro. Il Centro Ricerche della Rai ha contribuito allo sviluppo del Sistema DVB-T2, la nuova piattaforma di televisione digitale per diffusione terrestre verso terminali fissi o portatili, che fornendo prestazioni vicine al limite teorico, offre, rispetto al DVB-T, tangibili vantaggi in termini di incremento di capacità trasmissiva a parità di banda occupata, oppure di incremento di copertura radio a parità di potenza emessa. Come ampiamente riportato in due articoli di questo numero, nei quali sono illustrate le caratteristiche del nuovo sistema e i risultati della sperimentazione effettuata sull'area di servizio di Torino, l'incremento di capacità trasmissiva si può quantizzare in quasi il 50% che sale a circa il 300% se il sistema viene abbinato alle nuove codifiche di sorgente (MPEG-4 AVC).

La legge di Moore non accenna per il momento a mostrare tendenze di saturazione; dobbiamo attenderci per il futuro segni di rallentamento?

Super Hi-Vision a IBC 2008

Riceve lo Special Award

1. Oltre l'Alta Definizione

La Rai ha seguito sempre con particolare attenzione l'evoluzione tecnologica al fine di garantire la migliore qualità dell'immagine ed ha svolto un ruolo pioneristico nel campo dell'evoluzione dell'Alta Definizione (HDTV), collaborando strettamente con la NHK, la televisione pubblica giapponese e con i membri dell'EBU, l'organizzazione degli enti pubblici di radiodiffusione in Europa.

Oggi, uno dei progetti di collaborazione nell'ambito del Gruppo BFT vede l'impegno di NHK, BBC e Rai nello sviluppo della Super Hi-Vision (SHV).

La SHV è stata sviluppata dal Laboratorio di Ricerca della NHK, il broadcaster pubblico giapponese, per portare all'utente una TV di qualità così elevate da dare la percezione di immersione nella realtà.

Il Gruppo BTF costituito in ambito EBU nel febbraio 2007 dai centri di ricerca NHK, Rai, BBC e IRT ha incluso la SHV fra le tecnologie del futuro per la radiodiffusione.

Sommario
Rai, NHK e BBC, nell'ambito del Gruppo BTF (Broadcast Technology Futures) dell'EBU, stanno collaborando allo studio dell'SHV (Super High Vision), la televisione del futuro con una definizione 16 volte superiore dell'HDTV. Il contributo Rai al progetto è focalizzato sullo sviluppo delle tecnologie di diffusione della SHV: il segnale SHV, compresso mediante lo standard MPEG-4/H.264, occupa una banda di circa 140 Mbit/s, e grazie al DVB-S2 può essere trasmesso via satellite; detto standard di seconda generazione per la diffusione satellitare, è stato sviluppato dal DVB nel 2003, sotto la guida del Centro Ricerche Rai.
Alla prima diffusione satellitate avvenuta a settembre in occasione dell'IBC 2008 ad Amsterdam è stato assegnato lo "IBC Special Award". In ottebre dimostrazioni del progetto sono state tenute a Roma, presso il Circolo Sportivo Rai di Tor di Quinto.

2. Breve descrizione della sperimentazione

La risoluzione dell'immagine SHV è 16 volte superiore a quello della HDTV (figura 1). Per aumentare l'effetto di coinvolgimento scenico, l'audio della SHV viene diffuso con 24 canali (22.2) posizionati su tre piani sonori (mentre gli attuali sistemi home theatre, con il sistema 5.1, hanno sei canali in tutto).

Il bit rate associato al segnale SHV è pari a 16 volte quello prodotto da una telecamera HDTV, cioè 24 Gbit/s; per poterlo trasportare attraverso la rete di contribuzione o diffondere all'utente finale è quindi necessario adottare le tecniche di codifica molto efficienti.

Utilizzando lo standard di compressione MPEG-4 AVC è possibile ridurlo a "soli" 140 Mbit/s.

Il contributo Rai al progetto è focalizzato sullo sviluppo delle tecnologie di diffusione della SHV. Questa prima fase del progetto è stata finalizzata alla diffusione del segnale SHV mediante satellite, nelle bande Ku e Ka, sfruttando le caratteristiche del DVB-S2.

Lo standard di trasmissione satellitare mondiale di seconda generazione DVB-S2, è stato definito nel 2003 da un gruppo presieduto da Alberto Morello, Direttore del Centro Ricerche Rai, con la partecipazione attiva dei suoi ricercatori. Tale standard offre efficienze di trasmissione tali da poter soddisfare i requisiti di capacità e robustezza richiesti per la SHV, mediante l'utilizzo di trasponder satellitari da 36-72 MHz e modulazioni ad alta efficienza spettrale, quali l'8PSK, il 16APSK o il 32APSK.

2. Prima mondiale a IBC 2008

La prima diffusione satellitare SHV è avvenuta durante la conferenza internazionale IBC 2008 (Amsterdam, 12-16 settembre), la più importante esposizione europea dedicata agli sviluppi tecnologici per la TV digitale.

Acronimi e sigle	
AVC	Advanced Video Coding
BBC	British Broadcasting Corporation
BTF	Broadcast Technology Futures
DVB	Digital Video Broadcasting
EBU	European Broadcast Union
IRT	Institut für Rundfunktechnik
MPEG	Motion Picture Expert Group
NHK	Nippon Hoso Kyokai
SHV	Super Hi-Vision
STRL	Science & Technical Research Laboratories

L'evento è stato reso possibile dalla collaborazione di NHK, BBC, Rai e Eutelsat e ha dimostrato la fattibilità tecnologica della SHV via satellite con ricezione con impianti domestici, e il trasporto dei segnali in fibra ottica da Londra (figura 2).

A Londra, nei pressi del Tamigi, una telecamera SHV consentiva agli operatori BBC di riprendere dal vivo immagini e audio e trasmetterle, codificate utilizzando MPEG-2 a 600 Mbit/s, via fibra ottica ad Amsterdam.

Analogamente, dal Centro Ricerche Rai di Torino, venivano trasmesse sequenze, memorizzate su un server, codificate a 140 Mbit/s utilizzando 16 codificatori MPEG-4 AVC in parallelo. Il flusso era trasmesso via satellite utilizzando lo standard DVB-S2 grazie a due transponder messi a disposizione da Eutelsat.

Alla "Prima trasmissione internazionale di contenuti Super Hi-Vision" è stato assegnato il premio "IBC Special Award" (figura 3).

Fig. 1 - La visualizzazione dell'SHV. Ogni immagine è costituita da 7680 pixel per riga e 4320 linee per quadro (comunemente indicata come 8K x 4K) mentre il formato HDTV è costituito da 1920x1080 pixel (2K x 1K). Gli studi hanno permesso di valutare, mediante prove soggettive e sulla base delle conoscenze della fisiologia della visione, la relazione fra l'angolo di visione e la senzazione di presenza: essa tende a raggiungere il massimo con un angolo di visione compreso fra 80° e 100°. Tali risultati, insieme agli esperimenti di valutazione della risoluzione angolare, sono alla base della scelta del numero di pixel costituenti l'immagine SHV. Ad una distanza dallo schermo pari a ¾ dell'altezza dello schermo stesso e un angolo di visione orizzontale pari a 100° lo spettatore ha la percezione di trovarsi al centro della scena.

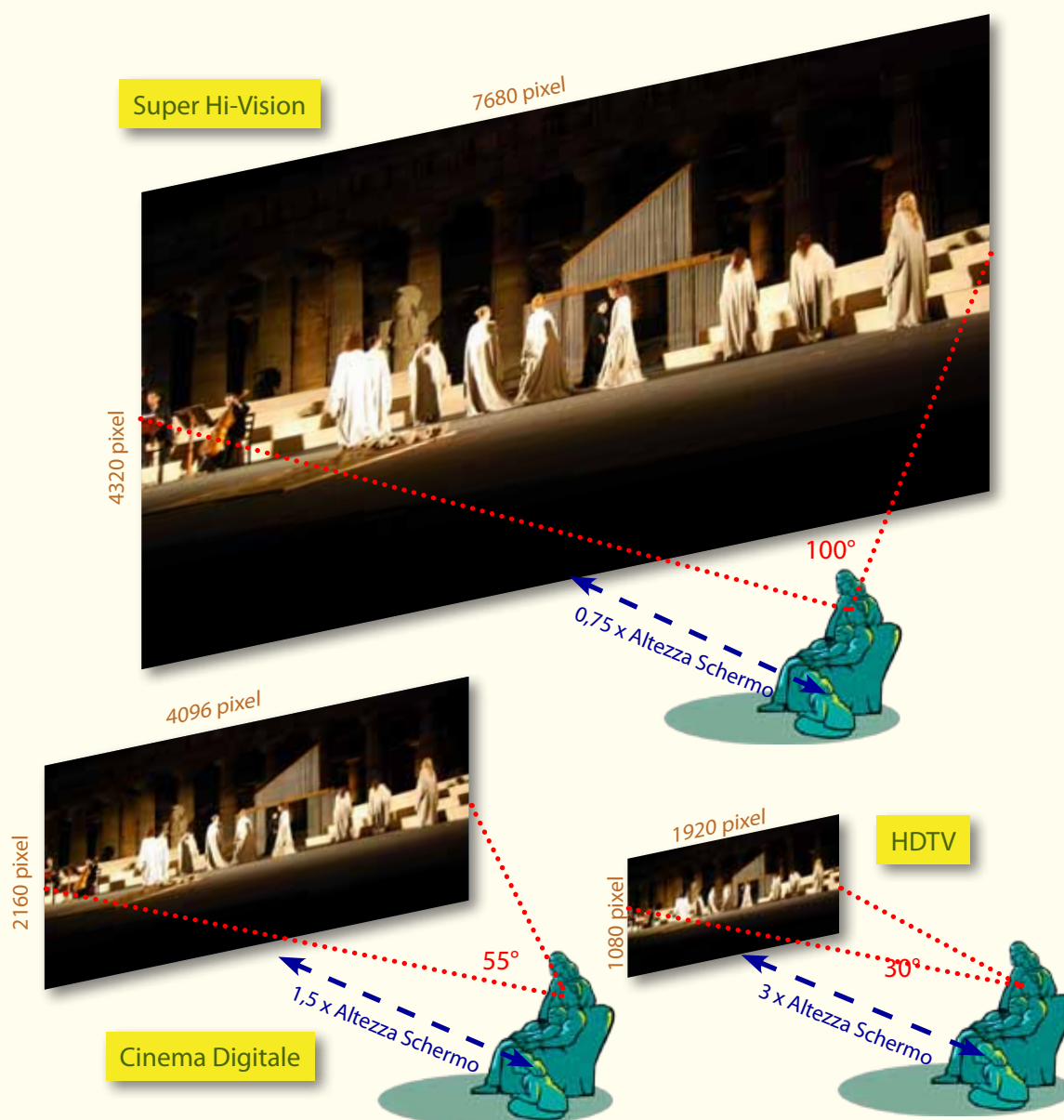



Fig. 2 - SHV all'IBC 2008.

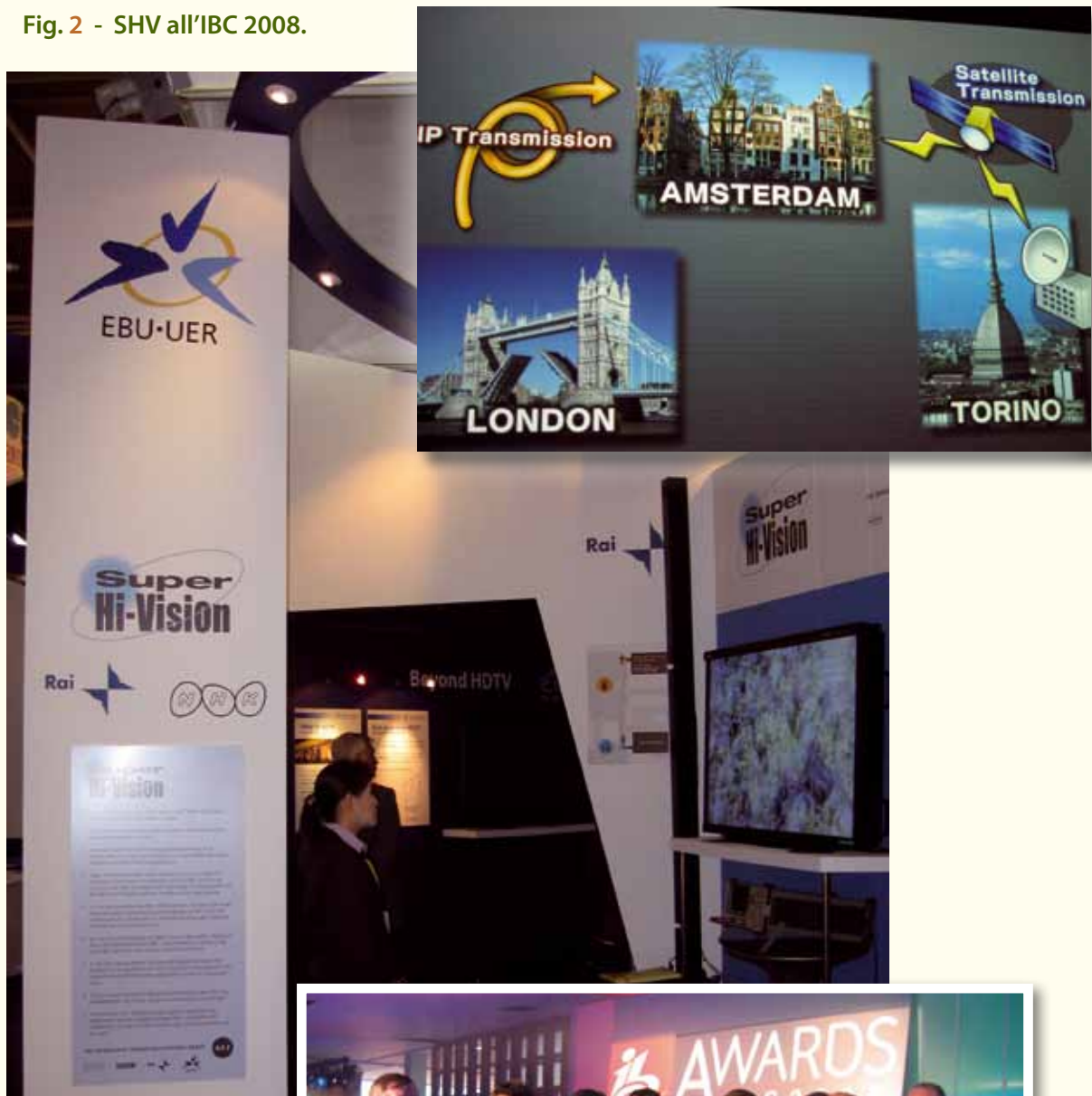



Fig. 3 - IBC Special Award. Il premio è consegnato al Dr. Keiichi Kubota, direttore generale del STRL della NHK, in rappresentanza dei colleghi del gruppo BTF.

3. Roma, ottobre 2008

La Direzione Strategie Tecnologiche e il Centro Ricerche Rai hanno organizzato un a Roma un convegno per presentare la SHV (Circolo Sportivo Rai di Tor di Quinto a Roma, 23 e 24 ottobre).

Per l'occasione, è stato allestito uno studio televisivo specificamente progettato per esaltare le capacità di ripresa della SHV, una regia e una sala tecnica per gli apparati di ricezione e decodifica. E' stato così possibile apprezzare sia la qualità delle immagini riprese da una telecamera locale (fig. 4) che quelle riprodotte localmente da un video server o ricevute via satellite (fig. 5).

Durante le due giornate della manifestazione si sono avute varie esperienze di shooting-set con telecamera e playout dal videoserver locale alla massima qualità della SHV. Le immagini SHV sono state visualizzate su uno schermo da 100 pollici "8Kx4K", realizzato mediante 4 schermi da 50 pollici (figura 5).

4. Il Futuro

Si prevede che la Super Hi-Vision diventerà una tecnologia matura per il mercato (ad esempio con posti di visione pubblici con schermi con dimensioni maggiori di 100 pollici) nell'arco di una decina di anni.

E' previsto che la BBC utilizzerà tale sistema in occasione delle Olimpiadi di Londra del 2012.

Fig. 4 - Telecamera e display.
Le immagini riprese localmente con la telecamera SHV, riprodotte da video server o ricevute via satellite sono state visualizzate su 4 schermi da 50 pollici per consentire la loro riproduzione a piena risoluzione.

La tecnologia SHV può consentire oggi applicazioni professionali: post-produzione televisiva, osservazioni spaziali, telemedicina e microbiologia.

In tempi più brevi potrà avere sviluppi per il mercato consumer televisivo il formato con definizione quattro volte superiore a quella HDTV (3840 pixel per riga e 2160 linee per quadro. Tale formato, che ha la stessa qualità della ripresa cinematografica a 35 mm, ha già oggi ha un utilizzo professionale per applicazioni di Cinema Digitale. E' ipotizzabile che le prime applicazioni di ripresa e diffusione televisiva con tale qualità possano già essere realizzate nel corso del 2010 (es. Mondiali di calcio di Sudafrica).

Sulla base delle linee guida definite dalla Direzione Strategie Tecnologiche, il Centro Ricerche continuerà la sperimentazione della SHV estendendone, in un prossimo futuro, la diffusione su canali terrestri. In tale ambito si ipotizza infatti che l'utilizzo del nuovo standard di trasmissione DVB-T2. Tale standard, appena normalizzato dal DVB, offre capacità trasmissive dell'ordine di 30-40 Mbit/s e sarà quindi in grado di alloggiare un segnale televisivo con un numero di pixel pari a quattro volte quello che caratterizza la HDTV.

Fig. 5 - Ricezione via satellite. Immagini trasmesse dal Centro Ricerche di Torino via satellite, codificate utilizzando lo standard di compressione MPEG-4 AVC a 140 Mbit/s. Tale bit-rate è stato multiplato su due transponder utilizzando lo standard DVB-S2.

A Torino, il primo esperimento di diffusione in Italia

Sommario
Il primo esperimento in Italia di diffusione di un multiplex basato sul nuovo standard DVB-T2 è avvenuto a Torino. Presso il Centro Ricerche Rai si è tenuto un incontro con i professionisti del settore che hanno potuto valutare le prestazioni del sistema. Grazie all'uso della codifica MPEG-4 AVC e all'incremento di capacità trasmissiva è stato possibile diffondere un multiplex costituito da quattro programmi in alta definzione (HDTV), utilizzando un canale del trasmettitore RaiWay dell'Eremo (Torino).

1. L'esperimento

Una descrizione approfondita dello standard DVB-T2 e delle caratteristiche che rendono possibile il successo di questa evoluzione del sistema di diffusione digitale terrestre è oggetto dell'articolo che segue [1].

Il percorso di ricerca e sviluppo che ha portato alla definizione di questo nuovo standard comprende una tappa significativa: la prima diffusione sul territorio italiano di un multiplex DVB-T2. Per la Rai l'iniziativa è stata condotta dalla Direzione Strategie Tecnologiche con la Direzione Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica, in collaborazione con RaiWay S.p.A.

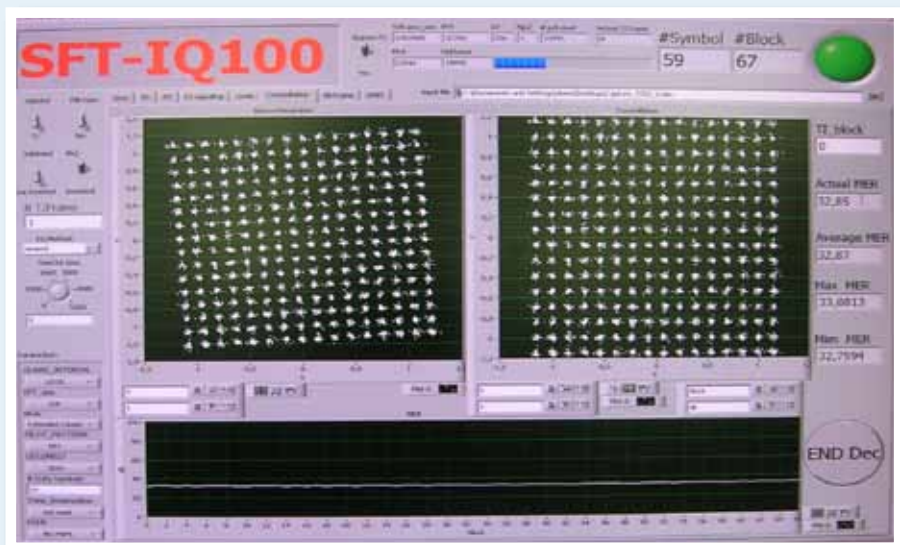
Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica Rai ha partecipato attivamente alla definizione di questo nuovo standard. L'italiana ScreenService S.p.A. e la spagnola SIDSA hanno sviluppato rispettivamente il trasmettitore ed il ricevitore DVB-T2.

DVB-T2, a Torino

Questa sperimentazione tecnologica, per ora concentrata nell'area torinese, consentirà di realizzare "prove in campo" delle caratteristiche del DVB-T2, sia per gli aspetti propagativi che per quelli di robustezza e resistenza alle interferenze in diverse condizioni operative.

Attualmente l'Industria manifatturiera sta sviluppando i primi prototipi di ricevitori per essere in grado di fornire i decoder in Gran Bretagna già nel 2010, quando ci sarà il lancio del servizio HDTV regolare.

Accensione del sistema di diffusione DVB-T2, presso il trasmettitore Rai dell'Eremo (Torino) avvenuta il 19 novembre 2008.

A destra il dettaglio della costellazione 256-QAM ruotata.

Il 16 dicembre, a Torino, si è tenuto un incontro organizzato presso il Centro Ricerche della Rai a cui hanno partecipato numerosi professionisti del settore.

Nel corso dell'evento è stato possibile valutare le prestazioni del sistema e l'incremento di capacità grazie alla diffusione dal trasmettitore di Torino Eremo di un multiplex costituito da ben quattro programmi HDTV codificati MPEG-4 AVC.

Tre programmi erano riprodotti grazie ad un server locale mentre il quarto era realizzato mediante ripresa dal vivo della sala in cui si teneva conferenza, utilizzando una telecamera HDTV a piena risoluzione (1920 pixel, 1080i).

Bibliografia

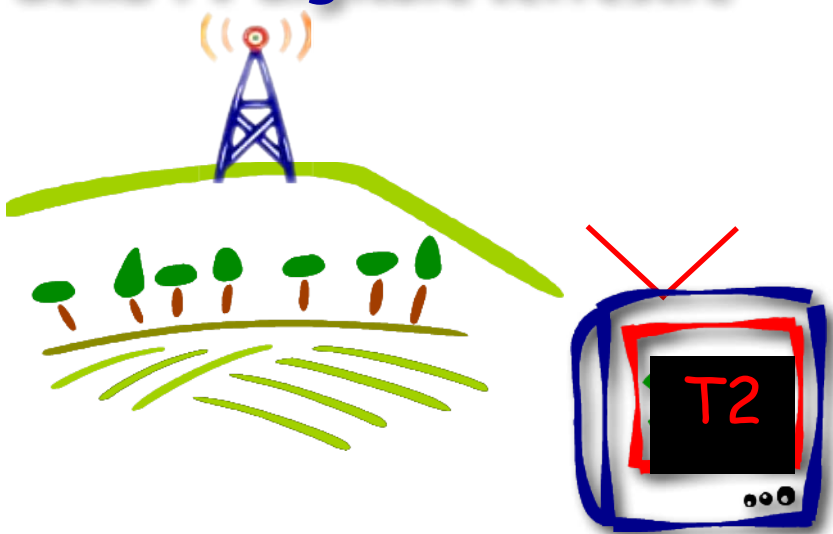
1. V. Mignone, A. Morello, G. Russo, P. Talone, "DVB-T2: la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre", Elettronica e Telecomunicazioni, n. 3, dicembre 2008.

Le immagini HDTV, riprese nella sala dove si teneva l'incontro, erano codificate e inviate mediante la catena Screen Service al trasmettitore RaiWay di Torino Eremo, diffuse sul canale UHF 29, ricevute e decodificate grazie al prototipo di ricevitore della SISDA.

A destra - il Direttore del Centro Ricerche, Alberto Morello, illustra le caratteristiche e le migliorate prestazioni del sistema DVB-T2.

In basso - per consentire di apprezzare anche la qualità audio offerte dagli standard DVB, l'incontro si è concluso con l'Ave Maria di Schubert interpretata dal tenore Andrea Del Principe.

DVB-T2

la nuova piattaforma di diffusione della TV digitale terrestre

ing. Vittoria **Mignone**
ing. Alberto **Morello**
Rai
Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
Torino

ing. Giuseppe **Russo**
ing. Paolo **Talone**
Fondazione Ugo Bordoni
Roma

Sommario
E' nato il DVB-T2, la nuova piattaforma di televisione digitale per diffusione terrestre verso terminali fissi o portatili, venuto alla luce a poco più di un decennio di distanza dallo standard attualmente in esercizio (DVB-T). Ha prestazioni vicine all'ottimo teorico, e offre tangibili vantaggi in termini di incremento di capacità trasmissiva a parità di banda occupata, oppure di copertura radio a parità di potenza emessa rispetto al DVB-T. L'incremento di capacità trasmissiva si può quantizzare in quasi il 50%; con le nuove codifiche di sorgente (MPEG-4 AVC) questo vantaggio diventa schiacciante: circa il 300% se si ragiona in termini di numero di programmi trasportabili a pari qualità. In realtà la coppia DVB-T2 / MPEG-4 non è solo la tecnologia per triplicare i programmi trasportati da un multiplex DTT a parità di banda occupata, ma soprattutto è il driver ideale per l'introduzione della televisione ad alta definizione, che può sostituire quella tradizionale senza quasi provocare decremento del numero programmi attualmente diffusi. Il passaggio al DVB-T2 non implica modifiche rilevanti nei siti trasmittenti e nelle antenne riceventi a casa dell'utente, ma richiede la sostituzione dei ricevitori che, con l'occasione, potrebbero adeguarsi alla ricezione della TV ad alta definizione, comunque non possibile con i decoder attuali a standard DVB-T.
Questo articolo fornisce una descrizione delle tecnologie utilizzate dal sistema DVB-T2 e presenta alcuni risultati simulativi che dimostrano come il sistema definito soddisfi ed in qualche caso superi significativamente i requisiti commerciali alla base del processo di standardizzazione.

1. I PERCHÈ DELLA NASCITA E I FATTORI PER L'AFFERMAZIONE

Diversi paesi hanno dimostrato, nel recente passato, interesse allo sviluppo di nuovi standard di diffusione per la televisione digitale in grado di assicurare prestazioni superiori rispetto ai sistemi in uso ed ormai consolidati da anni. In particolare, il riferimento è agli standard sviluppati negli anni '90 dal consorzio DVB [1], vanto della tecnologia europea e attualmente più adottati nel mondo: rispettivamente il DVB-S per la diffusione satellitare e il DVB-T per quella terrestre, oggi identificati come sistemi DVB di prima generazione.

Il compito di definire le "tecnologie di seconda generazione" è stato ancora una volta affidato al DVB, che ha realizzato le nuove piattaforme di TV digitale, DVB-S2 [2,3] e DVB-T2 [4,5], rispettivamente per diffusione satellitare e terrestre, verso terminali fissi.

Le opportunità per definire le nuove piattaforme si sono presentate, come di consueto, quando la diminuzione dei costi dei microcircuiti ha permesso di realizzare, anche per ricevitori domestici, soluzioni tecnologiche molto più complesse e fino a ieri troppo costose. Le nuove tecnologie, pur restando nel solco delle precedenti, ne ottimizzano a fondo le potenzialità.

In particolare (sia nel terrestre che nel satellitare) è stato possibile introdurre algoritmi di correzione d'errore particolarmente avanzati, con prestazioni

Acronimi e sigle

ACE	Active Constellation Extension
ASI	Asynchronous Serial Interface
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AVC	Advanced Video Coding
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BBFRAME	Base Band Frame
BCH	Bose, Ray-Chauduri, Hocquenghem (codice di...)
BER	Bit Error Rate
BICM	Bit Interleaved Coded Modulation
CD3	Coded Decision Directed Demodulation
CfT	Call for Technologies
CP	Continual Pilots
CPE	Common Phase Error
DA	Data-Aided
DAB	Digital Audio Broadcasting (www.dab.it)
DBPSK	Differential Binary Phase Shift Keying
DRM	Digital Radio Mondiale (www.drm.org)
DTT	Digital Terrestrial Television www.dgtvi.it
DVB	Digital Video Broadcasting, (www.dvb.org)
EIT	Event Information Table
EPG	Electronic Program Guide
FEC	Forward Error Correction
FEF	Future Extension Frame
FFT	Fast Fourier Transform
GSE	Generic Stream Encapsulation
HDTV	High Definition TeleVision
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting -Terrestrial (www.dibeg.org)
IRD	Integrated Receiver Decoder
IP	Internet Protocol
IS	Input Stream
ITU	International Telecommunication Union (www.itu.int)
LDPC	Low Density Parity Check
MFN	Multi Frequency Network
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MISO	Multiple Input Single Output
MPEG	Motion Picture Expert Group
MRRC	Maximal Ratio Receive Combining
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAL	Phase Alternating Line
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PLP	Physical Layer Pipe
PCR	Program Clock Reference
PSI/SI	Program Service Information/ Service Information
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radio Frequency
RS	Reed-Solomon (codice di...)
SFN	Single Frequency Network
SP	Scattered Pilots
SISO	Single Input Single Output
TFS	Time Frequency Slicing
TR	Tone Reservation
TS	Transport Stream
VCM	Variable Coding & Modulation

tali da rendere possibile l'impiego di modulazioni di ordine più elevato, con un conseguente incremento di capacità trasmissiva, dell'ordine del 20-30%. Inoltre, le nuove piattaforme permettono di assegnare caratteristiche di protezione ed efficienza spettrale differenti a ciascun servizio trasportato, a seconda delle caratteristiche e dei requisiti commerciali dello stesso. Entrambi gli standard (DVB-S2 e DVB-T2) infatti sono sistemi di livello fisico e forniscono ai livelli superiori di protocollo un insieme di "Tubi trasparenti" (PLP nel DVB-T2, IS per il DVB-S2) in grado di trasportare flussi a bit-rate variabile con protezione differenziata (modulazione e codifica, VCM) contro il rumore e le interferenze.

E' quindi possibile (con tecniche differenti) suddividere un MUX-statistico nei singoli programmi, inviare ciascuno su un PLP diverso ed ottenere su ciascuno (o su gruppi) protezione / efficienza spettrale differenziate, come schematicamente illustrato nella figura 1.

Nel terrestre poi, la modulazione multiportante (OFDM), già adottata dallo standard di prima generazione, perché più adatta a contrastare gli echi in scenari multicammino, aumenta ora il numero delle portanti, con conseguente riduzione percentuale dei tempi di guardia necessari per contrastare i fenomeni propagativi. Grazie a ciò, e alla flessibilità di scelta dei parametri di sistema, quali le portanti pilota necessarie per l'equalizzazione del canale, il DVB-T2 permette di ridurre significativamente gli overhead[Nota 1] in modo tale da ottenere un sistema con prestazioni il più possibile prossime al limite teorico e con caratteristiche trasmissive ottimali. Indicativamente è possibile aumentare la capacità del canale del 30 - 50%, rispetto al DVB-T.

Inoltre il DVB-T2 introduce tutta una serie di nuove tecniche (quali la possibilità di utilizzo di antenne multiple in trasmissione in modalità MISO, riduzione dei picchi di potenza del segnale OFDM mediante le tecniche di PAPR,...) che verranno descritte in dettaglio nel resto dell'articolo e che consentono uno sfruttamento ottimale delle risorse.

Globalmente il risultato sono piattaforme di seconda generazione di complessità ragionevolmente accessibile con le tecnologie attuali e prestazioni

Nota 1 – Con *overhead* si indicano le risorse aggiuntive, ad esempio per sincronismi e protezione dagli errori, rispetto ai dati trasportati (indicate come *payload*), ad esempio le informazioni audio e video.

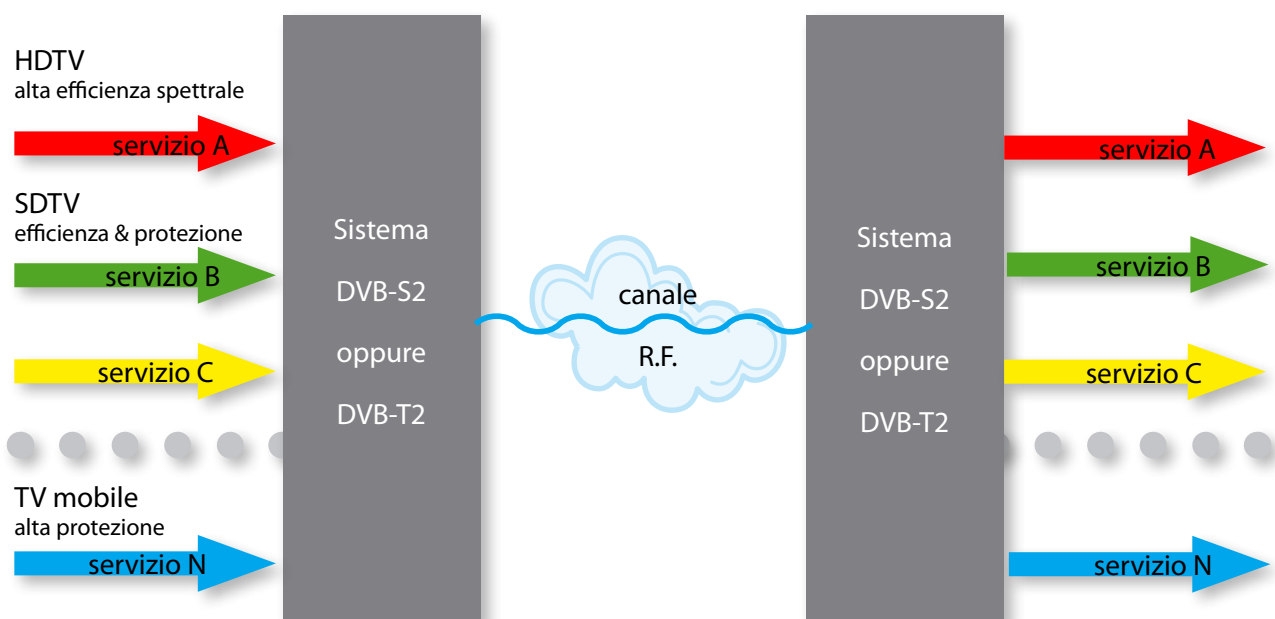



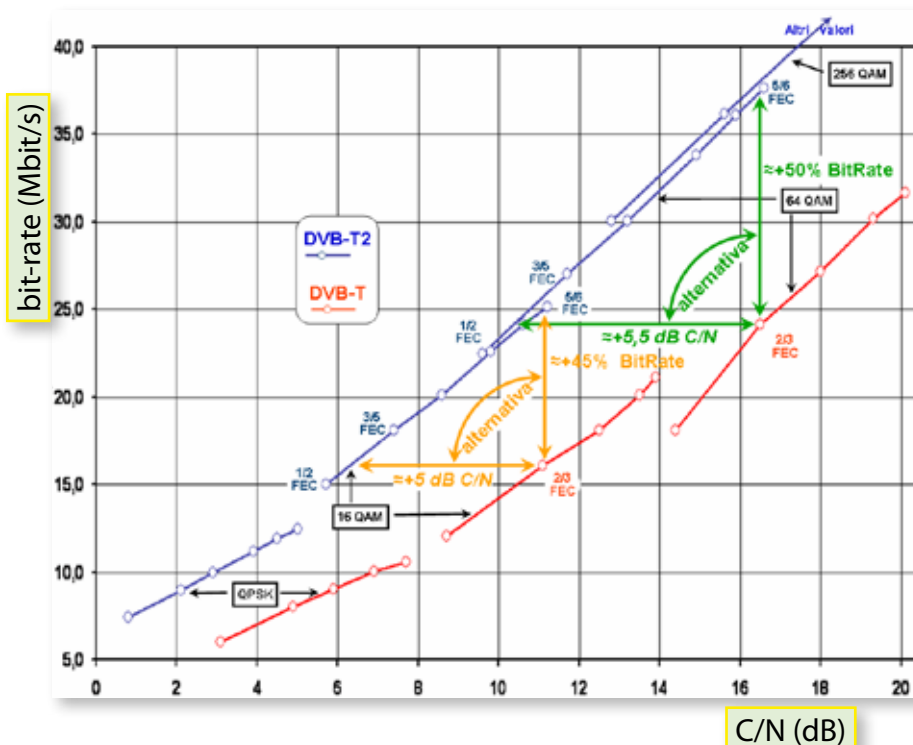
Fig. 1 – Caratteristiche di robustezza in funzione del tipo di servizio.

e flessibilità molto superiori rispetto ai precedenti sistemi DVB, risultanti in un "guadagno", rispetto ai sistemi di prima generazione, spendibile in due modi:

- Aumento dell'efficienza spettrale; ovvero più bit/s/Hz. In altri termini, a parità di banda, più canali TV oppure canali TV a qualità più alta.
- Aumento dell'efficienza energetica; ovvero maggior copertura del territorio a parità di siti trasmittenti e della loro potenza; oppure diminuzione della potenza dei siti a parità di copertura del territorio.

Nella figura 2 è illustrata la curva capacità/prestazioni per i sistemi DVB-T e DVB-T2. Come si può vedere dal grafico, il guadagno del DVB-T2 può consistere in un aumento del 45÷50 % di capacità trasmissiva (in verticale) o, in alternativa, in 5÷6 dB aggiuntivi di rapporto segnale/rumore (in orizzontale) rispetto alle prestazioni assicurate dal precedente DVB-T.

Le motivazioni della scelta sul come spendere il "guadagno" sono dettate dalla spinta concorrenziale provocata dalle esigenze di mercato, che tendono generalmente verso l'aumento dell'offerta di "canali" o verso "canali" a maggiore qualità (HDTV). Le nuove piattaforme per diffusione verso terminali fissi (terrestre e satellitare) sembrano pertanto volte essenzialmente a preferire l'aumento dell'efficienza spettrale a parità di banda occupata e di impianti trasmissivi, con la motivazione "forte" di sostituire la televisione ad alta definizione a quella a qualità standard. Tutto ciò a parità di risorse frequenziali e (quasi) a parità di programmi. In alternativa, restando nel campo della qualità standard, la triplicazione dei programmi. Nel caso terrestre, quest'ultima motivazione dovrebbe far risuonare le corde di tutti gli attori della filiera televisiva, in tempi di redistribuzione delle risorse frequenziali terrestri a favore di servizi differenti dalla televisione.

Figura 2 - Guadagno del DVB-T2 rispetto al DVB-T in termini di efficienza spettrale e/o rapporto segnale/rumore. Nella figura sono riportati due esempi tratti dai dati che verranno illustrati, al termine dell'articolo, in § 12.

Esempio arancio:
partendo da una modulazione DVB-T 16 QAM 2/3 è possibile guadagnare
≈ 45% di BitRate con un DVB-T2 16 QAM 5/6
– oppure –
≈ 5 dB di rapporto segnale rumore con un DVB-T2 16 QAM ½ oppure 3/5.

Esempio verde:
partendo da una modulazione DVB-T 64 QAM 2/3 è possibile guadagnare
≈ 50% di BitRate con un DVB-T2 64 QAM 5/6
– oppure –
≈ 5,5 dB di rapporto segnale rumore con un DVB-T2 64 QAM ½ oppure 3/5.

Per ottenere i vantaggi sopramenzionati e, segnatamente per il lancio di servizi di diffusione televisiva ad alta definizione, che avverrà in maniera significativa nei prossimi anni, non è tuttavia sufficiente l'aumento di efficienza spettrale offerto dalla piattaforma di diffusione. Il quadro è completato dalla possibilità di adottare la codifica di sorgente MPEG-4 AVC [6,7] che può portare ad risparmio, in termini di bit-rate e a parità di qualità, superiore al 50%[8].

L'MPEG-4 AVC è naturalmente applicabile sia a programmi HDTV che SDTV e richiede, come del resto il DVB-T2, il rinnovo del parco dei ricevitori d'utente (IRD), comunque di costo irrilevante rispetto a un display a schermo piatto (HD-ready o Full-HD). Naturalmente nulla vieta l'impiego della nuova codifica di sorgente con le vecchie piattaforme DVB-T e DVB-S, così come è possibile veicolare sulle nuove piattaforme la tradizionale codifica di sorgente MPEG-2, nel formato SD. Tuttavia, proprio perché anche solo un'adozione parziale dei nuovi sistemi richiede il rinnovo del parco degli IRD d'utente, è necessario sia che il rinnovo sia completo (per le nuove codifiche di sorgente e, contemporaneamente, per le nuove codifiche di canale), sia che venga addotta una motivazione "forte" per vincere la ritrosia all'adozione della tecnologia più efficiente ma incompatibile con gli apparati già commercializzati. La motivazione probabilmente sarà il nuovo servizio HDTV che, privo di una codifica di sorgente efficiente, occuperebbe una banda troppo larga per una diffusione commerciale e, privo di una efficiente codifica di canale, penalizzerebbe in maniera eccessiva il numero dei programmi irradiabili.

Nel seguito, dopo queste considerazioni preliminari sui vantaggi competitivi e sulle problematiche per l'introduzione delle nuove piattaforme, si riportano una breve storia e le caratteristiche tecniche dello standard DVB-T2.

2. Breve storia del DVB-T2

Nel 2006 nasce, in ambito DVB, un gruppo di lavoro ad-hoc focalizzato sugli obiettivi di definire una nuova piattaforma per la televisione digitale terrestre. Il gruppo è denominato TM-T2 e coordinato da N. Wells, BBC Research. Il primo obiettivo del gruppo è l'analisi delle possibili nuove tecnologie di interesse per una nuova piattaforma per il digitale terrestre, sulla base dei cui risultati il modulo commerciale del DVB sviluppa i requisiti commerciali richiesti al futuro standard.

Nell'aprile 2007, dopo l'approvazione del documento di specifica dei requisiti commerciali, viene lanciata una richiesta di proposte tecniche (CfT [9]) volte al soddisfacimento di detti requisiti.

Alla scadenza del CfT, Giugno 2007, vengono raccolte 31 proposte, fra cui quella del Centro Ricerche Rai, e nel Luglio 2007 iniziano le attività di standardizzazione vera e propria, suddivisa in 5 aree tecniche: System (responsabile: F. Herrmann, Panasonic,); MUX&Interleaving (A. Morello, Rai),Signalling, Synchronisation e Sounding (A. Filippi, Philips); Modulazioni (P. J. Bouvet, NXP) PAPR (R. Rajagopal, AMD) .

Nel giugno 2008, dopo un anno di intenso lavoro, cui hanno partecipato attivamente circa 70 esperti appartenenti a più di 40 aziende, il DVB vara il "Blue-Book A122" che costituisce il DVB-T2, lo standard di seconda generazione per la televisione digitale terrestre, e lo propone in ETSI per divenire "Norma Europea" [4].

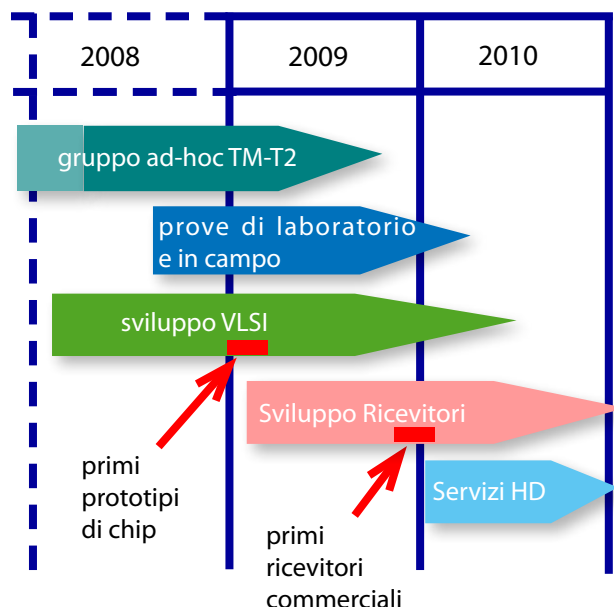



Fig. 3 - Previsione di evoluzione temporale della tecnologia DVB-T2.

Nella figura 3 è riportato il diagramma temporale adottato dal gruppo di lavoro TM-T2 per i prossimi anni: la prevista stabilizzazione dello standard e lo sviluppo delle relative implementazioni.

In attesa dell'approvazione da parte dell'ETSI, sono iniziati i primi test in laboratorio e sul campo.

Nel mese di novembre 2008 la Rai ha attivato dal Centro Trasmittente di Torino-Eremo la prima trasmissione in Italia di HDTV digitale terrestre basata sul DVB-T2. L'iniziativa è stata condotta dal Centro Ricerche Rai, in collaborazione con l'operatore di rete RaiWay SpA, l'italiana ScreenService SpA e la spagnola SIDSA, che tra i primi hanno sviluppato rispettivamente il trasmettitore ed il ricevitore DVB-T2.

Il progetto di microcircuiti commerciali a basso costo per i ricevitori, già iniziata al momento delle prime bozze stabilizzate dello standard, dovrebbe concludersi contemporaneamente alle sperimentazioni, per consentire poi la loro commercializzazione e la produzione degli IRD domestici. Entro il 2009 è prevista la produzione dei microcircuiti commerciali e di conseguenza la commercializzazione dei primi decoder. La Gran Bretagna prevede l'utilizzo del sistema per il lancio, entro fine 2009, del nuovo servizio HDTV terrestre.

3. Requisiti commerciali del sistema DVB-T2

Per comprendere le scelte tecniche operate dal gruppo di standardizzazione, è necessario conoscere i requisiti commerciali che le hanno guidate.

I principali requisiti definiti dal modulo commerciale del DVB per lo standard di seconda generazione di TV digitale terrestre comprendono:

- utilizzo degli impianti d'antenna domestici esistenti e dell'attuale infrastruttura di trasmettitori. Questo requisito, che evita il rinnovo degli impianti riceventi domestici, ha però impedito l'adozione di tecniche di trasmissione basate sulla ricezione con antenne multiple (MIMO), che pur offrono grandi vantaggi nella radiocomunicazione terrestre, limitando le innovazioni alla definizione di un sistema ad antenne trasmittenti multiple (MISO).
- incremento di almeno il 30 % della capacità trasmissiva rispetto al DVB-T, pur con gli stessi vincoli di occupazione spettrale;
- prestazioni superiori per SFN.
- meccanismi per fornire caratteristiche di robustezza in funzione del tipo di servizio. Ad esempio è possibile, sullo stesso canale a radiofrequenza, "tagliare" servizi per la ricezione fissa con antenna sul tetto e altri servizi per la ricezione su apparati portatili.
- flessibilità relativamente a frequenze operative e larghezza di banda;
- meccanismi per ridurre il rapporto tra potenza di picco e media, ottenendo vantaggi sulle emissione elettromagnetiche e sul costo dei trasmettitori.

Nella tabella 1, tratta dal CfT, è riportato l'elenco completo dei requisiti di tipo commerciale il cui soddisfacimento ha costituito l'obiettivo alla base dei lavori del gruppo tecnico che ha prodotto lo standard DVB-T2.

4. Overview del sistema DVB-T2

La specifica DVB-T2, recentemente approvata dal consorzio DVB ed inviata all'ETSI per l'approvazione, comprende le seguenti caratteristiche principali:

- Stessa tecnica base di modulazione utilizzata dal DVB-T, OFDM con intervallo di guardia, che garantisce un sistema di trasmissione affidabile su canali terrestri.
- Dimensioni di FFT estese rispetto al DVB-T, per migliorare le prestazioni in configurazioni di rete a frequenza singola (SFN) e, congiuntamente, incremento dei possibili valori degli intervalli di guardia, per offrire maggiore flessibilità di scelta di configurazione del sistema, in relazione alle caratteristiche della rete di trasmissione, e garantire un'efficienza trasmissiva significativamente più elevata rispetto al DVB-T

Requisiti	Caratteristiche richieste alle specifiche DVB-T2
Tipi di ricezione	**Ricezione fissa** con possibilità di configurazioni (come DVB-T) per ricezioni portatili e mobili.
Vincoli frequenziali	Trasmissione entro i livelli di interferenza e le maschere spettrali definite in "GE06 Agreement, Geneva 2006" e senza ulteriori interferenze rispetto al DVB-T.
Capacità trasmissiva	Massimo incremento della capacità trasmissiva netta rispetto al DVB-T in simili condizioni, (almeno del del 30% per ogni canale) con migliori caratteristiche di robustezza.
Trattamento dei flussi	- Trasporto dell'MPEG2 Transport Stream ed anche del GSE (Generic Stream Encapsulation) definito dal DVB; - Trasporto simultaneo di più flussi di trasporto DVB in un singolo canale; - Possibilità di una efficiente multiplazione statistica dei flussi in ingresso. - Conseguenti modifiche alle SI (Service Information) del Transport Stream da recepire nelle specifiche DVB SI.
Robustezza	- Maggiore robustezza , rispetto al DVB-T, nei confronti di interferenze provenienti da altri trasmettitori, incrementando con ciò la possibilità di riuso delle frequenze; - Differenti livelli di protezione da applicare uniformemente a tutti i dati del "Transport Stream" trasportato dal DVB-T2 in un particolare canale; - Possibile applicazione separata di differenti livelli di protezione a ciascun servizio all'interno del "Transport Stream" trasportato in un particolare canale. Quando viene trasportato più di un TS, DVB-T2 deve offrire una scelta di differenti livelli di protezione da applicare separatamente per ciascun TS; - Q.o.S. che assicuri, attraverso l'intero canale, non più di un grave disturbo (corrupted event) (audio o video) per ciascuna ora di ciascun servizio HDTV e SDTV - Prestazioni nei confronti di rumore impulsivo sostanzialmente migliori di quelle del DVB-T.
Velocità di adattamento	- Rivelazione automatica, entro ½ s, delle variazioni delle opzioni di modulazione. Sebbene il ricevitore potrebbe non essere in grado di adattarsi automaticamente (seamless changeover). - Non più di 0.3 s di ritardo addizionale nello zapping (cambio canale), rispetto a DVB-T.
Ri-uso infrastruttura DVB-T	Ri-uso dei siti e tralicci di trasmissione, antenne e cavi delle installazioni domestiche usati per il DVB-T.
Costi	- Riduzione, rispetto al DVB-T, del costo dei trasmettitori, a parità di potenza, sia in termini di investimento sia di costi di gestione. - Economicità nella realizzazione della copertura di aree locali, regionali e nazionali nel contesto della normative sull'allocazione delle spettro radio. Ad esempio ottimizzando I costi delle infrastrutture e l'uso dello spettro con tecniche SFN e/o MFN.
SFN	- Realizzazione di reti SFN su scala più larga rispetto al DVB-T. In una rete SFN la massima distanza tra trasmettitori adiacenti deve essere incrementata di almeno il 30% rispetto a quella offerta da un DVB-T con modalità 8K ed il medesimo livello di mutua interferenza. - Sviluppare di "gap filler" economici e conformi alla normative; allo scopo di una agevole copertura indoor.

Tab. 1 - Requisiti del DVB-T2

- Tecnica di suddivisione dei dati in trame (*frame*) di banda base (BBFRAME) e codifica di canale (FEC) analoghe a quella del DVB-S2.
- Stesse costellazioni del DVB-T (4-, 16-, 64-QAM), con estensione alla 256-QAM, per sfruttare a pieno i vantaggi derivanti dall'impiego della nuova generazione di FEC. Introduce la tecnica delle costellazioni ruotate che consente di migliorare significativamente le prestazioni del sistema in canali terrestri particolarmente critici.
- Metodo per trasportare servizi differenti con differenti gradi di protezione, in un unico canale fisico, ma diversi canali logici, denominati PLP. Ciascun PLP adotta FEC ed Interleaving indipendenti, consentendo così di adattare le caratteristiche di robustezza della codifica ai requisiti del particolare servizio convogliato. Ciò consente inoltre il "Time slicing" nello strato fisico, per un risparmio energetico nel ricevitore, che può rimanere acceso solo negli intervalli temporali in cui è presente il servizio di interesse.
- Quattro livelli di interallacciamento dell'informazione (Bit, Cella, Tempo e Frequenza), per fronteggiare meglio i diversi tipi di degradamento del segnale sul canale terrestre. L'interleaving temporale offre una profondità di interlacciamemto di almeno 70 ms per i servizi a rate più elevati, con l'opzione di poter estendere tale valore senza necessità di incrementare la memoria del ricevitore. Ciò consente di ottenere una maggiore immunità a disturbi di tipo impulsivo e può consentire una migliore ricezione in condizioni di mobilità a velocità elevate.
- Struttura di trama flessibile, in cui i dati possono essere dispersi sull'intera trama per avere la massima diversità temporale oppure concentrati in bursts per consentire il massimo risparmio energetico nel ricevitore. La struttura di trama prevede un'efficiente segnalazione di livello fisico per trasferire i parametri di trasmissione al ricevitore: il simbolo P1 serve per sincronizzazione di trama e per rivelazione rapida del segnale DVB-T2; i simboli P2 trasportano dati che descrivono la struttura della trama (segnalazione L1) e informazioni di tipo PSI/SI
- Ampliamento dei possibili segnali per la sincronizzazione e la stima del canale radio (segnali pilota di tipo scattered e di tipo continuo) che possono essere scelti sulla base del particolare ambiente trasmissivo (8 possibili configurazioni di dispersione di celle pilota).
- Possibilità di trasmissione con antenne multiple, basata sulla tecnica di Alamouti, che consente di migliorare la ricezione di segnali di pari livello provenienti da due trasmettitori.
- Meccanismi (due distinti, basati l'uno sulla tecnica "tone reservation" e l'altro sulla "constellation distortion") per ridurre il rapporto tra potenza di picco e potenza media del segnale trasmesso (PAPR).
- Segnalazione (a basso livello di potenza) per l'identificazione del trasmettitore.
- Meccanismi per permettere in futuro l'introduzione nel sistema di ulteriori tecniche preservandone la compatibilità all'indietro: TFS e FEF.

Nella figura 4 è illustrato il diagramma a blocchi del sistema di trasmissione DVB-T2 a cui si farà riferimento nella seguente trattazione delle specifiche funzionalità.

5. Il modello architetturale

Il sistema DVB-T2 si può logicamente dividere in tre sottosistemi (SS1, SS2, SS3) dal lato trasmissione e due sottosistemi (SS4 ed SS5) dal lato ricezione. Per quanto concerne le interfacce, se ne possono identificare due lato trasmissione (Interfaccia A – TS ed Interfaccia B – T2S) ed una (interna) lato ricezione. L'interfaccia su cui transitano segnali a radiofrequenza (Interfaccia C – DVB-T2) è quella tra il lato trasmissione e quello ricezione.

Sul lato trasmissione i sottosistemi sono:

Sottosistema SS1:
Multiplex statistico (generatore di TS)

Il sottosistema comprende la generazione di TS MPEG-2 e/o di GSE, § 6 (in figura 5 e figura 6 viene

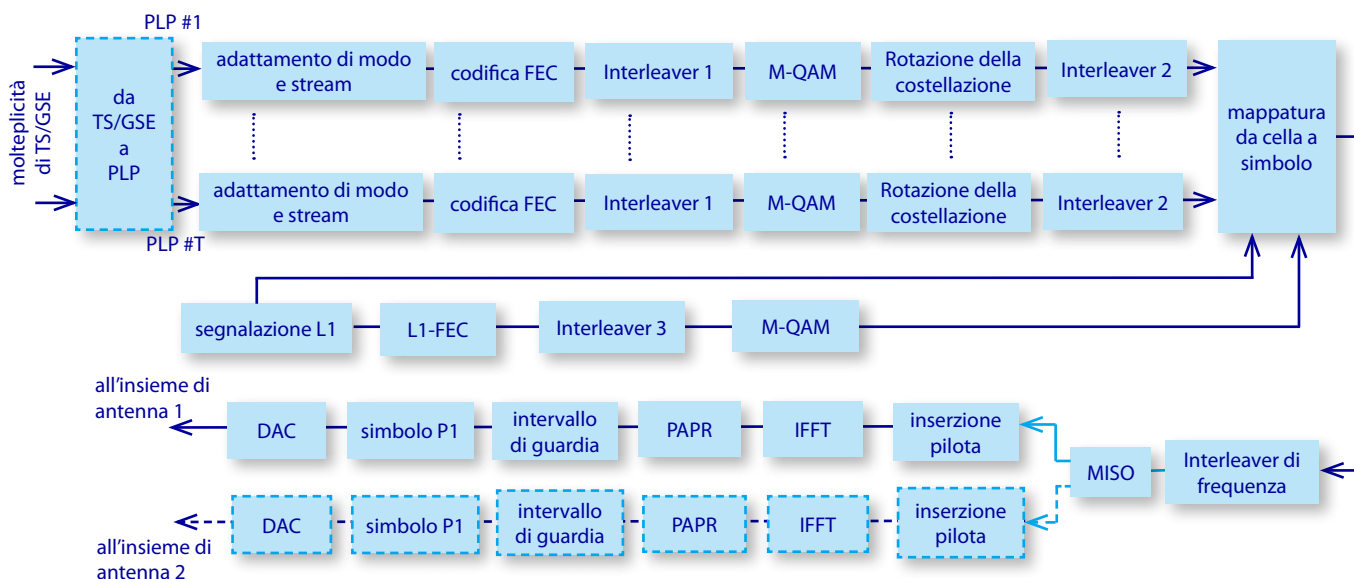



Fig. 4 - Diagramma a blocchi del sistema trasmittente DVB-T2.

illustrato il caso di TS). Per i servizi televisivi il sottosistema comprende la codifica audio/video, la generazione della segnalazione associata PSI/SI ed il resto della segnalazione di livello 2. Tipicamente i codificatori video ed audio producono un bitrate variabile che è controllato dal multiplex statistico in modo che l'aggregazione di tutti i servizi (a loro volta composti da stream elementari audio, video e dati) produca un flusso in uscita a bitrate costante (escludendo i pacchetti NULL). Il sottosistema SS1 si interfaccia a quello SS2 attraverso l'interfaccia A – TS (tipicamente TS MPEG-2 su interfaccia fisica ASI).

Sottosistema SS2: Gateway DVB-T2

Il cosiddetto "Gateway DVB-T2" (sottosistema SS2) è un blocco funzionale opzionale che viene impiegato quando sia previsto l'impiego di più PLP distinti (§ 9.1). In caso contrario il Blocco SS3 è connesso direttamente all'SS1 ed il sistema si presenta funzionalmente analogo al DVB-T, con la differenza, però delle opzioni avanzate di FEC e modulazione.

Il Gateway DVB-T2 produce all'interfaccia d'uscita (T2S) una sequenza di trame T2S, ciascuna delle quali contenente un numero intero di trame in banda base (BBFRAME) (§ 7) con la segnalazione richiesta (ovvero: tipo di costellazione, parametri di FEC e profondità dell'interleaving temporale) per creare una trama di livello fisico (PL-frame) nel modulatore DVB-T2 e trasmetterla con la tempistica necessaria per la sincronizzazione in una rete SFN. A questo scopo il sottosistema SS2 interfaccia quello SS3 attraverso l'interfaccia B-T2S.

Il sottosistema comprende funzionalità per il DVB-T2 quali "Mode adaptation" e "Stream adaptation", ma può comprendere anche funzionalità di remultiplexing quali il ricampionamento dei PCR definiti nel TS.

Sottosistema SS3: Modulatore DVB-T2

Il sottosistema può venire connesso a monte con due modalità:

- direttamente ad SS1 attraverso l'interfaccia A
- ad SS2 (come indicato in figura 6 e figura 7) attraverso l'interfaccia B

Nel primo caso il modulatore incorpora tutte le funzioni descritte nel livello fisico del DVB-T2; nel secondo caso (uso del flusso T2S) alcune funzionalità sono spostate nell'SS2 ed al modulatore DVB-T2 compete solamente la creazione del segnale a radiofrequenza

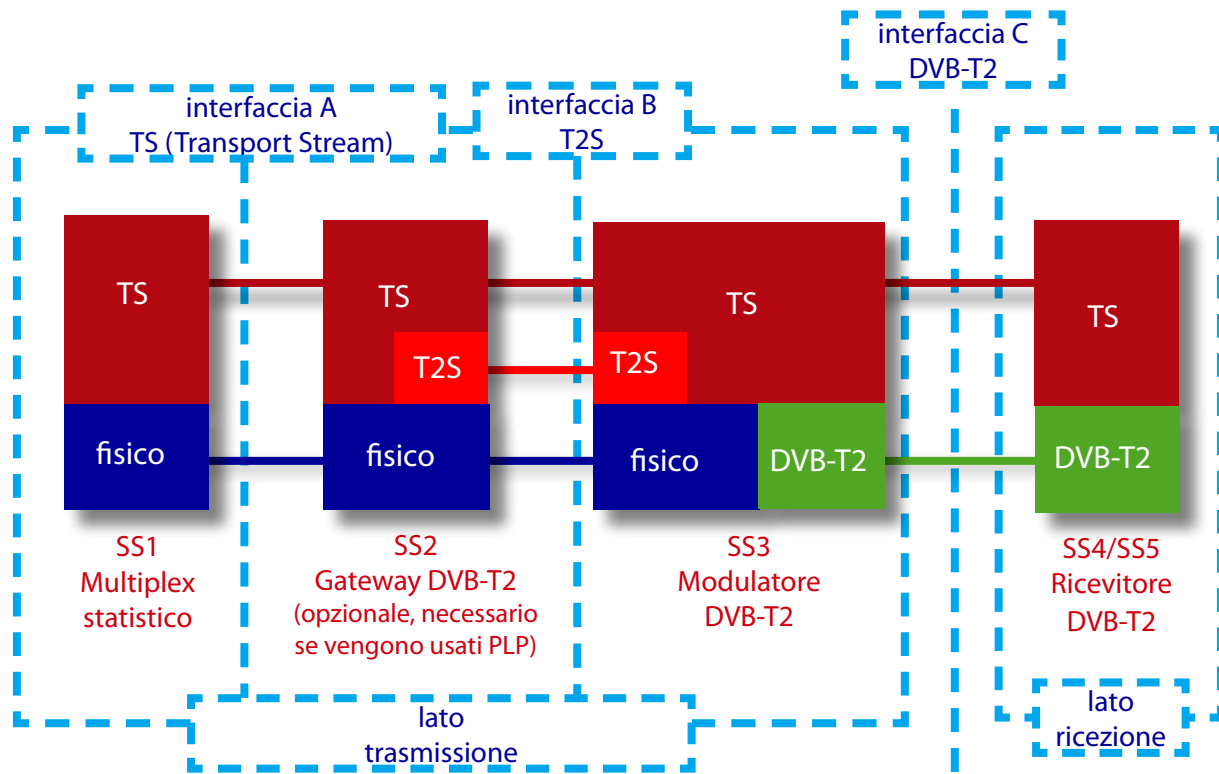



Fig. 5 - Stack dei Procolli nell'architettura di riferimento del DVB-T2 (nel caso di flusso in banda base di tipo MPEG-2-TS).

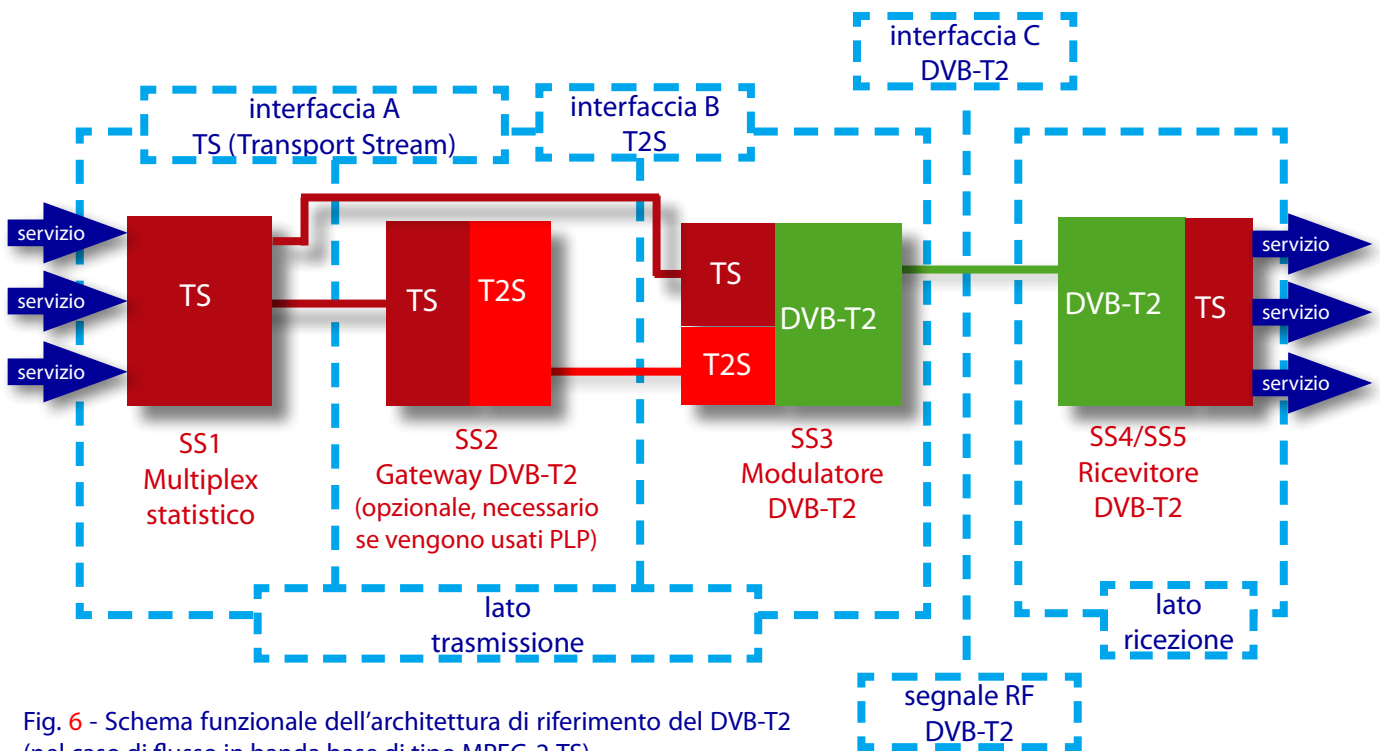



Fig. 6 - Schema funzionale dell'architettura di riferimento del DVB-T2 (nel caso di flusso in banda base di tipo MPEG-2-TS).

con la struttura di trama già determinata da SS2. Il flusso T2S infatti trasporta le trame in banda base e la relativa segnalazione. Il sottosistema SS3 interfaccia quello SS4 attraverso l'interfaccia C-DVB-T2 (il segnale DVB-T2 trasmesso a RF).

Sul lato ricezione i sottosistemi sono:

Sottosistema SS4: Demodulatore DVB-T2

Il sottosistema riceve un segnale a radiofrequenza (o più nel caso SFN) e produce in uscita uno stream di servizio ed uno stream di segnalazione. Il sottosistema SS4 interfaccia quello SS5 attraverso l'interfaccia D (non illustrata in figura 5 e figura 6, in quanto "interna"). Quando non viene usato SS2, gli stream che passano sull'interfaccia B sono identici a quelli che passano sull'interfaccia D.

Sottosistema SS5: Stream decoder

Il sottosistema riceve uno stream di servizio ed uno stream di segnalazione, produce in uscita i servizi (composti da audio, video e dati).

Altre caratteristiche:

Distribuzione delle trame T2S ai trasmettitori

Per assicurarsi che modulatori multipli (ognuno con un trasmettitore separato) in una rete a singola frequenza (SFN) generino trasmissioni identiche, è necessario che i contributi ai modulatori siano generati centralmente e distribuiti attraverso l'interfaccia T2S.

Come si e visto, il modulo SS2 "Gateway DVB-T2" genera il flusso T2S ricevendo in ingresso il tradizionale TS MPEG2.

Un vantaggio nell'uso delle trame T2S è quindi quello di poterle distribuire (tramite IP e/o satellite) a vari trasmettitori, ciascuno dei quali è messo in grado di generare, sulla base delle istruzione contenute nel T2S, un flusso di trame di livello fisico (PL-frame) DVB-T2 identico a quello generato dagli altri e di trasmetterlo in maniera sincrona in una SFN.

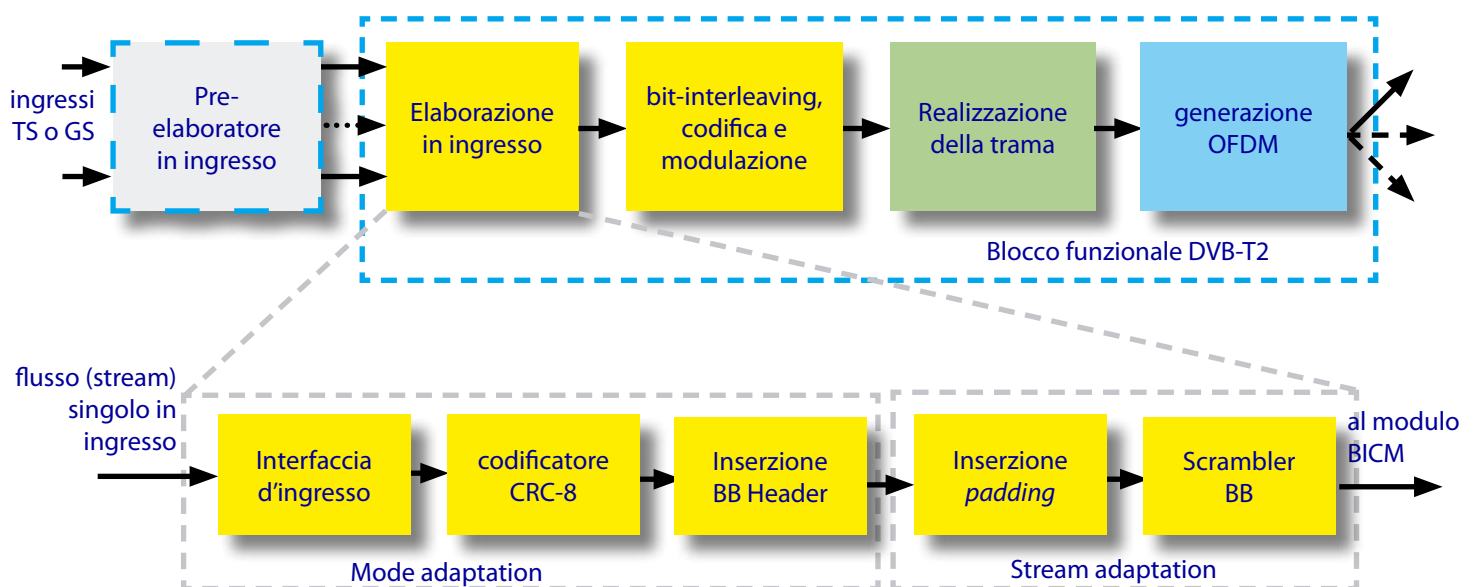



Fig. 7 - Diagramma a blocchi del blocco funzionale "DVB-T2" del Sottosistema SS3: Modulatore DVB-T2; con espansione del modulo "Input Processing" nel caso di singolo PLP (input mode "A").

Inserzione di servizi locali

L'uso del T2S consente l'inserzione di servizi a diffusione locale in un flusso di contribuzione (T2S) distribuito a livello nazionale.

L'inserzione è possibile predisponendo delle trame fittizie in banda base (*dummy frames*) che riservino una banda prefissata nel flusso T2S distribuito. L'inserzione avviene semplicemente sostituendo le trame fittizie con le trame che veicolano i contenuti locali. Ovviamente tale possibilità si riferisce esclusivamente alla contribuzione in reti MFN i cui siti possono introdurre servizi locali modificando opportunamente il segnale da diffondere. Ciò risulta impraticabile nel caso di reti SFN in quanto in tal caso, per definizione, il segnale digitale diffuso dai diversi siti deve essere identico.

Nella figura 7 viene illustrato il blocco funzionale "DVB-T2" del Sottosistema SS3: Modulatore DVB-T2

6. Flussi dati in ingresso

Come nello standard DVB-S2 [2] il sistema è progettato per adattarsi a qualunque formato dei flussi di dati in ingresso, primi tra tutti i "tradizionali" flussi MPEG TS, singoli o multipli, ma anche IP e ATM, attraverso flussi generici GSE singoli o multipli, a pacchetti o continui. Questo fa si che l'eventuale futura definizione di altri formati, possa essere recepita senza modifiche al sistema. Inoltre l'architettura del DVB-T2 non pone nessun vincolo alla possibilità che ciascun PLP trasporti un flusso di tipo TS o GSE.

Per trasportare differenti servizi con differenti gradi di protezione, in un unico canale fisico, il DVB-T2 definisce i PLP. Il trasmettitore DVB-T2 elabora PLP multipli in modo tale che il ricevitore possa decodificare i singoli PLP di interesse ed eventualmente il "common PLP", un PLP speciale, che il ricevitore può sempre decodificare, definito nello standard DVB-T2 (Annex D di [4]) per trasportare una sola volta i pacchetti comuni ai vari TS. Questo è il caso di informazioni come ad esempio l'EIT: i pacchetti dati relativi possono essere rimossi dai differenti TS ed inseriti nel common PLP. Il ricevitore sarà poi in grado di effettuare la ricostruzione di un valido TS prelevando dati dal common PLP e dal PLP del servizio di interesse.

Il blocco "da TS/GSE a PLP" in figura 4 opera la funzione, completamente deterministica, di *separare/ricongiungere* i pacchetti e assicura la sincronizzazione tra il contenuto dei PLP dei servizi ed il *common* PLP. Tale meccanismo pur mantenendo una completa trasparenza *end-to-end* del sistema, ne migliora significativamente l'efficienza.

7. Framing di Banda Base e protezione dell'informazione

Nell'ottica di garantire un elevato grado di compatibilità con lo standard satellitare DVB-S2, lo standard DVB-T2 ha previsto, pur con opportune estensioni per migliorarne l'efficienza, meccanismi compatibili con quelli già definiti nello standard DVB-S2 sia per l'elaborazione dei dati in ingresso, sia per le tecniche di correzione d'errore (FEC).

In particolare, si tratta rispettivamente di:

- impacchettamento dei flussi in ingresso in trame di banda base. Con questa tecnica i dati vengono allineati a formare delle trame di banda-base (BBFRAME), eventualmente previo completamento con bit di riempimento. Si opera inoltre una prima operazione di scrambling che distribuisce uniformemente i simboli binari nel BBFRAME, evitando la presenza di sequenze critiche per la successiva codifica FEC. Questa struttura e la relativa intestazione sono le medesime del sistema DVB-S2 e sono generate con lo stesso meccanismo di soppressione dei pacchetti nulli e sincronizzazione del flusso. Si ricorda che, come detto in precedenza, una trama T2 contiene un numero intero di BBFRAME e la relativa segnalazione (ovvero: tipo di costellazione, parametri di FEC e profondità dell'interleaving temporale).
- Inserimento dell'header del BBFRAME, che trasporta informazioni sull'adattamento dei pacchetti esterni (es: TS) ai formati interni DVB, ed è compatibile con i protocolli MPEG-TS e

GSE (adattamento diretto IP su DVB). Sono definiti 2 tipi di BB-header: l'uno, NORMAL mode, compatibile con quello definito dallo standard DVB-S2; l'altro nuovo, HIGH-EFFICIENCY mode, che riduce l'overhead dell' 1%.

- Utilizzo dello stesso schema di codifica del sistema DVB-S2
- Introduzione di un meccanismo di cancellazione e re-inserimento dei Null-Packets del TS e di "synchronisation & jitter removal" basato su "time-stamp" ereditato dal DVB-S2 (sviluppato dal Centro Ricerche Rai)

Nella figura 8 è riportata la struttura di una BBFRAME, che rappresenta l'unità dati elementare sottoposta a FEC di tipo LDPC/BCH.

La trama denominata "FEC frame", strutturata come riportato in figura 8, è l'unità dati fondamentale. La sua lunghezza è fissa ed è generalmente pari 64800 bit; tuttavia è anche prevista, in alternativa, una lunghezza di 16200 bit (comeper il DVB-S2), che rende possibili applicazioni a bassi bit-rate con latenza ridotta. Le prestazioni dei codici corti (FEC frame=16200 bit) risultano qualche decimo di dB peggiori di quelle dei codici lunghi (FEC frame=64800 bit)

Così come per il DVB-S2, il codice FEC del DVB-T2 è basato sulla concatenazione tra codici LDPC [10] e BCH, tecnica che fornisce prestazioni eccellenti non solo su canali satellitari ma anche in ambiente terrestre.

Fig. 9 - Matrice bidiagonale inferiore ad elementi unitari.

Per ridurre la complessità di codifica, i codici LDPC adottati dal DVB-T2 sono caratterizzati da "matrici di parità" della forma $H_{(N-K)\times N} = A_{(N-K)\times K}\ B_{(N-K)\times(N-K)}$, in cui A è una matrice sparsa (ossia a basso contenuto di "1") ciclica (ciò permette di ridurre la quantità di informazione da memorizzare per caratterizzarla) e B è una matrice bidiagonale inferiore ad elementi unitari, così come illustrata in figura 9.

I rapporti di codifica FEC del codice LDPC ammessi sono un sottoinsieme di quelli del DVB-S2: 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, per la protezione dei PLP, e ¼, con FEC frame corto, per la protezione dei simboli P2. Si osserva che i valori del tasso di codifica riportati sono nominali, e che nel caso di impiego di codici corti i valori effettivi possono essere leggermente più bassi.

Come previsto dal DVB-S2, per evitare possibili errori residui, dopo la decodifica LDPC, le parole di codice sono ulteriormente protette da un FEC di tipo BCH, di dimensione ridotta, applicati a monte della codifica LDPC.

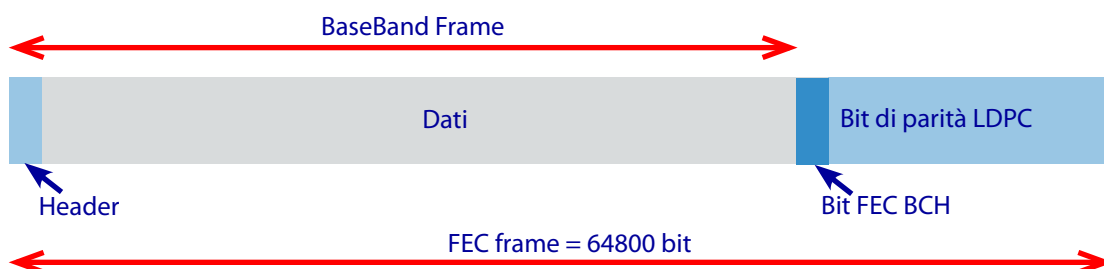



Fig. 8 - Trama di banda base e codifica FEC.

I codici LDPC utilizzati da DVB-T2 sono di tipo irregolare, nel senso che il livello di protezione di ciascun bit del codice non è uniforme, ma dipende dal peso della relativa colonna della matrice di parità. Anche le costellazioni QAM multilivello dello standard DVB-T2 sono caratterizzate da una protezione non uniforme dei bit. Per poter ottimizzare la corrispondenza tra i bit della parola di codice e i bit del punto della costellazione, è stato inserito un interleaving di bit tra il FEC e il mapper (blocco che associa i bit ai punti sulle costellazioni).

8. Tecniche di modulazione

8.1 Modulazione OFDM

La tecnica definita dal DVB-T2 riprende quella già utilizzata dallo standard DVB-T (ed anche da altri standard di diffusione a radiofrequenza, quali DAB, ISDB-T, DRM ed altri): la modulazione OFDM [11,12] con intervallo di guardia.

Nella modulazione OFDM ogni simbolo trasporta dati su un numero molto elevato di portanti distinte, e l'intervallo di guardia, ripetizione ciclica della porzione utile di simbolo, "assorbe" l'interferenza intersimbolica generata dagli echi di propagazione, tipici della ricezione in ambiente terrestre.

Per il soddisfacimento dei requisiti di carattere commerciale, i parametri che definiscono la modulazione OFDM sono stati opportunamente estesi rispetto al DVB-T. Si descriveranno nel seguito le principali innovazioni introdotte.

8.1.1 Numero delle portanti

Sono 6 le possibili configurazioni del numero di punti su cui viene effettuata la FFT nel modulatore per il DVB-T2: 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K. Maggiore è il numero di portanti (a parità di larghezza di banda complessiva), minore è la spaziatura tra di esse e maggiore è la durata del periodo di simbolo (circa 1 ms per 8K;....; 4 ms per 32K). Ciò rende il sistema più critico in presenza di interferenze di tipo inter-carrier, e di effetto Doppler (è quindi una modalità che mal si adatta alla ricezione su mezzi mobili). Ma riduce anche la durata relativa dell'intervallo di guardia rispetto al periodo di simbolo in trasmissione, pur mantenendo costante la sua durata assoluta (vedi figura 10), il che può comportare da un lato una riduzione dell'overhead dell'intervallo di guardia per una data distanza reciproca dei siti in SFN, dall'altro un incremento della distanza dei siti SFN per un data percentuale dell'intervallo di guardia rispetto alla lunghezza del simbolo. Ulteriori vantaggi di operare con FFT di dimensioni elevate sono: maggiore robustezza nei confronti del rumore impulsivo; inferiori livelli di densità di potenza fuori banda; opzione di interpolare in frequenza solo tra le configurazioni pilota (a causa della vicinanza delle portanti). Da notare che gli studi attuali sembrano indicare che il rumore di fase sia controllabile anche per il 32K.

Nel DVB-T2 i modi 16K e 32K sono proposti per le configurazioni di rete SFN. Il valore di 1K è invece utilizzabile per trasmissioni in condizioni di elevata variabilità temporale e in canalizzazioni ridotte (es.: 1,7 MHz). Anche i simboli P1 che identificano l'inizio di una trama fisica, utilizzano la modalità 1K.

Fig. 10 - Rappresentazione della durata del simbolo nel caso di 8K e 32K portanti. In entrambi i casi l'intervallo di guardia è circa 224 μs e consente la realizzazione di SFN con distanza tra i trasmettitori di circa 70 km.

8.1.2 Dimensioni degli intervalli di guardia

Le possibili frazioni che definiscono gli intervalli di guardia sono state estese, rispetto al DVB-T, con particolare attenzione verso valori più bassi (in corrispondenza con l'estensione verso livelli più elevati di FFT), per consentire una riduzione di overhead e una maggiore flessibilità. Possono assumere i seguenti valori: 1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4.

8.1.3 Costellazioni

Per quanto riguarda le costellazioni di modulazione utilizzabili, lo standard DVB-T2 aggiunge a quanto previsto nella specifica DVB-T (QPSK, 16-QAM, 64-QAM), la tecnica 256-QAM (figura 11) che permette il trasferimento di 8 bit per simbolo. Ciò è reso possibile dalla maggiore efficienza della codifica FEC basata sui codici LDPC utilizzati dal DVB-T2 rispetto a quelli adottati per il DVB-T: tale efficienza garantisce la possibilità di operare come se i rapporti segnale/rumore fossero maggiori di quelli effettivi.

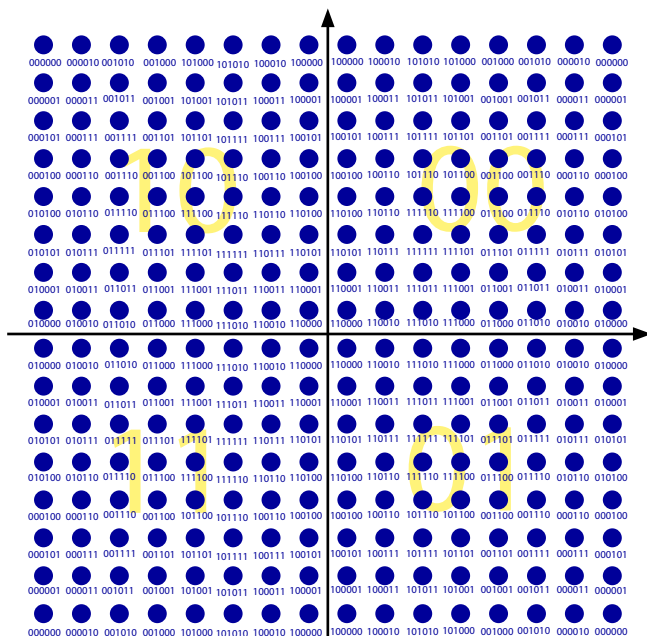



Fig. 11 - Costellazione 256-QAM. Ad ogni simbolo sono associati 8 bit, di cui i due più significativi identificano il quadrante di appartenenza.

Se ciò non fosse, infatti, essendo la distanza euclidea tra punti adiacenti della costellazione 256-QAM, circa la metà di quella dei punti della 64-QAM, la più elevata sensibilità al rumore della prima dovrebbe essere compensata con un corrispondente aumento del rapporto segnale/rumore.

8.2 Costellazioni ruotate

Il codice LDPC del DVB-T2 permette di operare con configurazioni a più alto rapporto di codifica rispetto al DVB-T - e quindi a più alta efficienza spettrale - a patto che il canale radio non sia affetto da profonde attenuazioni selettive in frequenza.

In tale caso, infatti, indipendentemente dal tipo di FEC utilizzato, per ottenere prestazioni adeguate può essere necessario aumentare la ridondanza del FEC, riducendo così la capacità trasmissiva. Per ovviare a tale inconveniente, e poter utilizzare i codici LDPC ad alto tasso di codifica anche in presenza di canali selettivi in frequenza, lo standard DVB-T2 prevede una nuova tecnica, alternativa alla ridondanza di codifica: le cosiddette costellazioni ruotate.

Nelle costellazioni tradizionali, le coordinate dei differenti punti sono allineate orizzontalmente (per ordinata) o verticalmente (per ascissa). Ne risultano più punti aventi o la stessa ascissa o la medesima ordinata. La distinzione tra due di questi punti è possibile solo con entrambe le coordinate, non essendoci correlazione tra i due assi. Con la tecnica di rotazione, la costellazione prescelta è ruotata nel piano complesso "I-Q" in modo tale che non esistano più punti con una coordinata uguale. Ciascuna coordinata del sistema ruotato è quindi sufficiente per riconoscere il punto della costellazione e le doppie coordinate (ascissa ed ordinata di ciascun punto) risultano quindi ridondanti.

Ad esempio per un sistema 16 QAM i punti della costellazione dopo rotazione assumono per ascissa ed ordinata 16 valori distinti (figura 12b).

Di per se questa tecnica non dà vantaggi, ma grazie all'introduzione di un ritardo ciclico per l'ordinata Q prima dell'interleaving in tempo e frequenza (figura 12a), ascissa ed ordinata di ciascun punto sono trasferite su differenti celle OFDM. Dopo la

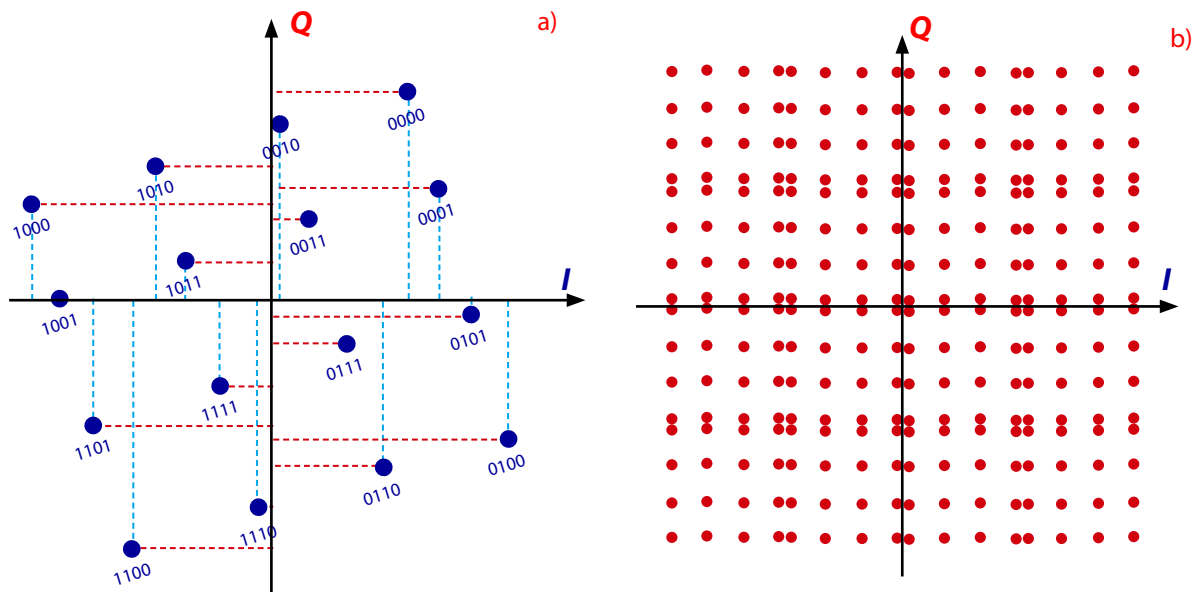



Fig. 12 - a) Costellazione 16 QAM ruotata, prima del ritardo ciclico di Q.
b) Costellazione 16 QAM ruotata, dopo il ritardo ciclico di Q. Vi sono $16^2 = 256$ stati possibili.

riunificazione dei valori di I e Q a valle del de-interleaving al ricevitore, se una delle due coordinate è compromessa per effetto dei disturbi selettivi sul canale radio, l'altra coordinata, se ricevuta correttamente, è in grado, da sola, di consentire una decodifica univoca del simbolo trasmesso.

Tale tecnica non degrada le prestazioni su canale Gaussiano, mentre fornisce, in canali affetti da fading, un guadagno che può raggiungere anche valori molto elevati nel caso di canali molto critici (ad esempio echi a 0 dB, nel caso di SFN o nel caso di canali con cancellazione, in presenza di interferenze impulsive in frequenza). Ovviamente tale guadagno si traduce nella possibilità di utilizzare codici correttori FEC con tassi di codifica più elevati e quindi in capacità trasmissive maggiori.

8.3 Larghezza di banda estesa

Si tratta di una modalità di funzionamento che permette un uso ottimale della banda del canale di trasmissione nel caso di impiego di FFT di ordine più elevato (16K e 32K). Infatti, in tal caso lo spettro del segnale ai bordi della banda occupata decade molto più rapidamente rispetto al caso di FFT di ordine più basso, come illustrato in figura 13. Conseguentemente, pur mantenendo la stessa spaziatura tra le portanti di quella che si ha nel modo di funzionamento normale è possibile aggiungere un certo numero di portanti addizionali ad entrambe le estremità dello spettro, ottenendo così un guadagno in efficienza di circa il 2%.

9. Scheduling dei dati

9.1 Physical Layer Pipes

La configurazione più semplice di applicazione dello standard DVB-T2 è costituita da un unico PLP su un unico canale a radiofrequenza. Questa modalità operativa, che si presuppone sia quella delle prime implementazioni dello standard, si configura come una estensione diretta dello standard DVB-T. Tuttavia, come già accennato precedentemente, lo standard prevede modalità operative più complesse. In particolare, lo strato fisico dello standard DVB-T2

permette una codifica personalizzata (in termini di Modulazione / FEC / Interleaving) per ciascun servizio o gruppi di servizi. Ciò avviene attraverso l'uso di un certo numero (fino ad un massimo di 256) di PLP, cioè flussi di livello fisico distinti, ciascuno operante in maniera indipendente l'adattamento di modo (Mode Adaptation), FEC, mappatura di bit nelle costellazioni (celle) e interleaving temporale. Con ciò il sistema è in grado di differenziare la robustezza fornita a ciascun servizio ed ottimizzare i requisiti di memoria per l'interleaving temporale, sulla base dei requisiti di banda del servizio trasportato e della tipologia del terminale ricevente e dall'ambiente operativo dello stesso: fisso, trasportabile, ed eventualmente mobile.

Ciascun PLP è costituito da "slice" che si ripetono ciclicamente in una struttura di trame tempo-frequenza come riportato in figura 14. Gli elementi funzionali denominati "scheduler"/"frame builder" operano la corrispondenza tra i dati all'uscita dell'interleaving temporale e i simboli OFDM ed aggiungono l'opportuna segnalazione per generare trame e super-trame DVB-T2 (che saranno definiti in § 9.2).

a)

Fig. 13 - Modalità con estensione di banda
a) Spettro teorico del segnale DVB-T2 (Canale a 8 MHz; intervallo di guardia 1/8; modalità a portante estesa per 8K, 16K e32K)
b) Dettaglio dello spettro nelle medesime condizioni.

La figura 14 riporta un esempio semplificato di come celle provenienti da differenti PLP (ognuna identificata da un colore distinto) possono essere lette dalla memoria dell'interleaving temporale e allocate nei simboli OFDM (blocchi verticali).

La flessibilità della strategia di mappatura delle celle nel tempo e nella frequenza consente la sua ottimizzazione nelle più diverse situazioni. Per ottenere la massima diversità temporale (ad esempio per aumentare la robustezza con rumore impulsivo) si possono distribuire le celle di un PLP su tutti i simboli OFDM di una trama (od anche di più trame): a tal fine la memoria dell'interleaving temporale di un dato PLP è suddivisa in più sub-slice (come nei motori MultiJet![Nota 2]), che sono mappate nei simboli OFDM alternandosi con le sub-slice di altri PLP. Ciò implica che per ricevere il servizio in questione il ricevitore deve operare con continuità per tutti i simboli della trama.

Nota 2 - Nei motori MultiJet è possibile operare un controllo molto fine sul tempo e la quantità di combustibile iniettato, migliorando così l'efficienza. Analogamente qui si può decidere di trasmettere i dati relativi ad un servizio consecutivamente oppure suddividerli in più sub-slice di durata temporale minore e trasmetterli (iniettarli) a frequenza maggiore: un rumore impulsivo corrompe solo parte dell'informazione, facilitando così le procedure di correzione degli errori.

b)

Fig. 14 - Struttura tempo-frequenza dei PLP;
viene evidenziata la ripetizione ciclica dei blocchi tempo-frequenza.

Invece per ottenere il massimo risparmio energetico (ad esempio nel caso di dispositivi portatili dotati di batterie), si possono concentrare temporalmente le celle di un PLP su simboli OFDM adiacenti, senza prevedere sub-slice, come mostrato in figura 14, e attivare il ricevitore solo per una ridotta percentuale di tempo, durante la trasmissione dei simboli che convogliano l'informazione (PLP) richiesta. Si noti che la figura è riferita al caso in cui la velocità di trasferimento di ciascun PLP è costante. Se ciò non fosse, le dimensioni delle slice sarebbero diverse da trama a trama.

I dati comuni a tutti i PLP sono trasportati nel cosiddetto "common PLP", situato all'inizio di ciascuna trama. Per decodificare un singolo servizio un ricevitore deve essere in grado di leggere contemporaneamente le informazioni relative ad almeno il common PLP ed il PLP che trasporta il servizio prescelto. Il common PLP trasporta le tabelle PSI/SI dei servizi, che convogliano, ad esempio, le informazioni per l'EPG dell'intero multiplex trasmesso.

Ovviamente in aggiunta a ciò deve essere prevista una segnalazione addizionale, per comunicare la modalità operativa utilizzata. A tal fine, le informazioni PSI/SI definite nel TS di MPEG-2 sono opportunamente estese per includere tre nuovi elementi informativi:

- T2PLP Information Table (T2PIT);
- T2 delivery system descriptor (T2dsd);
- T2 system identifier.

La T2PIT descrive la corrispondenza tra i servizi trasportati dal sistema DVB-T2 ai corrispondenti PLP. La principale ragione per la definizione di questa nuova tabella invece di un descrittore, è legata alla circostanza che l'informazione relativa è di tipo piuttosto statico e conseguentemente il relativo periodo con cui deve essere ripetuta risulta ridotto.

La definizione del T2dsd segue la stessa logica del corrispondente parametro del DVB-T.

9.2 Struttura delle trame

La struttura di trama DVB-T2 è riportata in figura 15

A livello più alto, la struttura consiste di super-trame (di durata massima pari a 64 s nel caso in cui non siano usate FEF, §11.4) che sono suddivise in trame e queste sono ulteriormente composte da simboli OFDM.

Il numero di trame per ogni super-trama è definito in modo che per ogni PLP di dati vi sia un numero intero di *Interleaving Frames* in ogni super-trama. La super-trama può anche includere FEF, che corrispondono ad intervalli temporali lasciati inutilizzati dal segnale DVB-T2 (consentendo la possibilità di introdurre in futuro servizi non attualmente definiti).

Le trame DVB-T2 iniziano con un simbolo di riferimento denominato P1 (§ 10.1), differente da un normale simbolo OFDM, seguito da uno o più simboli di riferimento P2 (§ 10.2), il cui scopo principale è trasferire la segnalazione. Infine segue un numero configurabile di simboli OFDM di dati. La durata delle trame può essere dell'ordine di 100÷250 ms.

Come già detto in precedenza la capacità di un PLP può variare nel tempo, conseguentemente la posizione in tempo e frequenza delle celle associate a un PLP può cambiare da trama a trama. I dati di un PLP possono non essere mappati su tutte le trame ma sono possibili salti di più trame.

Per poter estrarre i dati del PLP selezionato dall'utente e del "Common PLP" (quando presente), il ricevitore deve essere in grado di aggiornare dinamicamente la posizione delle celle di interesse.

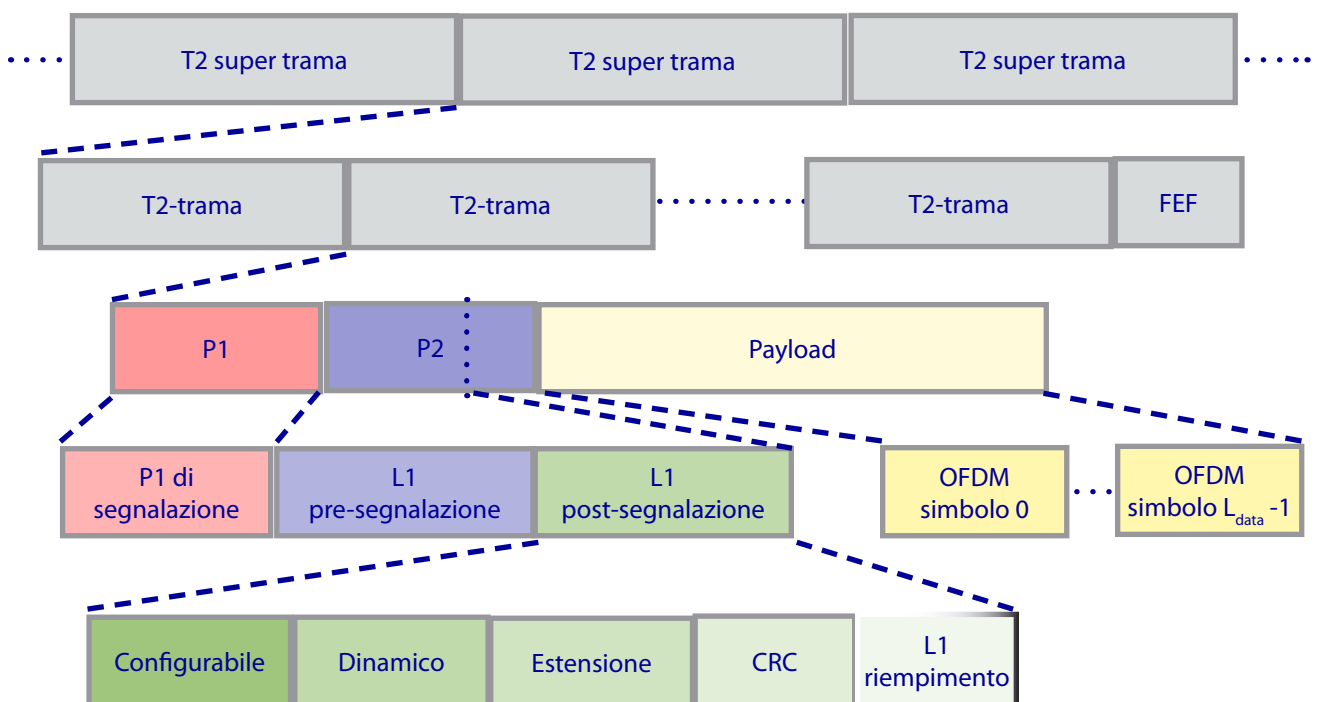



Fig. 15 - Struttura di trame e super-trame del DVB-T2.

Poiché il DVB-T2, anche in caso di ricezione statica, ma tanto più in quello di ricezione in mobilità, può essere soggetto a disturbi di tipo impulsivo, la segnalazione della posizione delle celle (le cosiddette informazioni L1 dinamiche) ha richiesto accorgimenti particolari (con meccanismi di correzione di errori e trasmissione ripetuta) per consentirne una trasmissione il più possibile robusta. Infatti la segnalazione L1 è trasferita in ogni trama nel simbolo P2, ma l'informazione relativa alla trama seguente può essere anche "embedded" nei dati trasferiti dal PLP. È anche possibile ripetere questa informazione, attraverso la segnalazione L1, con uno o due trame in anticipo.

9.3 Stadi di interleaving (bit, cella, tempo e frequenza)

I codici correttori d'errore operano generalmente bene solo per errori distribuiti in modo casuale (statisticamente indipendenti). Per evitare *pattern* d'errore che possono vanificare le potenzialità correttive del codice, bisogna garantire la distribuzione degli eventi errore su più blocchi di codice. Lo scopo dell'*interleaving* è quello di distribuire uniformemente i dati nel tempo ed in frequenza in modo che rumori di tipo impulsivo (disturbi del segnale OFDM per un breve periodo temporale) e *fading* selettivi in frequenza (disturbi su un piccolo intervallo di frequenze, come quelli che possono essere causati da interferenze PAL o da propagazione multicammino) non compromettano lunghe sequenze di dati originali contigui. In più bisogna tenere in conto che la codifica FEC non protegge tutti i bit in ugual misura e che i bit dei punti di una costellazione di modulazione non presentano uguale grado di robustezza.

Il DVB-T2 utilizza quattro stadi di *interleaving*: ***bit, cella, tempo e frequenza***.

L'***Interleaver di bit*** lavora all'interno del blocco FEC e, insieme con il demultiplexer, mescola i bit della parola codificata, tenendo conto che sia nel codice LDPC che nelle modulazioni QAM non tutti i bit sono protetti allo stesso modo. Una scelta oculata del bit interleaver, che evita interazioni indesiderate tra i bit trasportati dal simbolo di modulazione e la struttura del codice LDPC, permette di ottimizzare le prestazioni. La struttura adottata per il codice con *rate* 3/5 è stata sviluppata dal Centro Ricerche Rai.

L'***Interleaver di cella*** applica una permutazione pseudo-random alle celle all'interno di un blocco FEC, diversa per ogni blocco FEC. Questo permette di rompere la regolarità della struttura dell'interleaver di tempo, ed evita possibili interazioni con la struttura del codice LDPC. Per esempio, in presenza di canali molto critici, che causano cancellazioni del

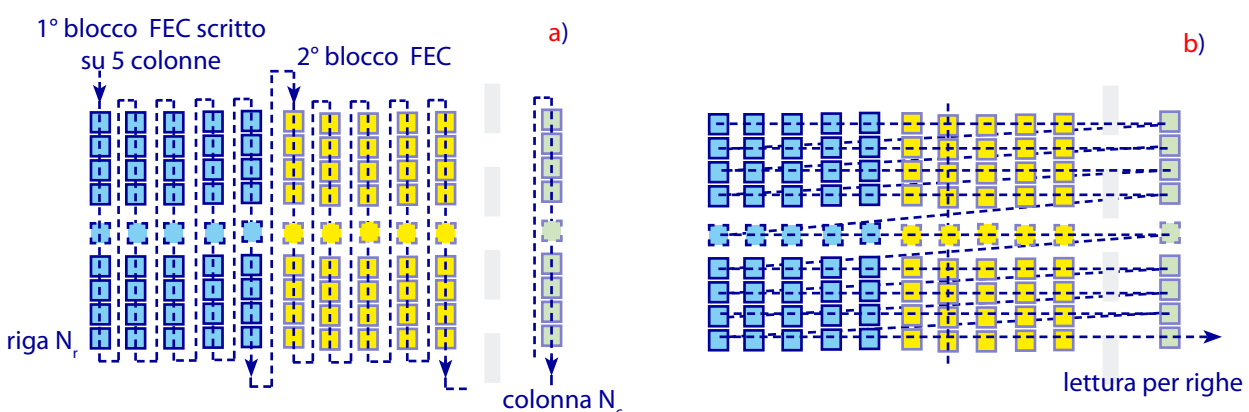



Fig. 16 - Interleaving temporale. L'interleaver intercala le celle costituenti un numero intero di blocchi FEC. I blocchi FEC sono scritti nella memoria organizzata come una matrice di N_c colonne N_r righe. Nell'esempio ogni blocco FEC è contenuto in 5 colonne ed N_r dipende dal tipo di modulazione usato e dalla lunghezza del blocco LDPC. Ad esempio, nel caso di 64-QAM ogni cella corrisponde a 6 bit, e, se il blocco LDPC è pari a 64800 bit, il numero di celle per ciascun blocco FEC assume il valore 10800 e N_r = 10800/5 = 2160. Il numero N_c è quindi pari al numero totale di blocchi FEC moltiplicato per 5. Una volta che tutti i blocchi FEC sono scritti per colonna (a), vengono letti per riga (b).

segnale, l'interleaver di cella fa si che esse si presentino in posizioni casuali all'interno della parola di codice, e non ci sia il rischi di presentazione con spaziatura regolare, in contrasto con la struttura del codice. L'interleaver di cella permette anche di aumentare la separazione tra le celle che portano la stessa informazione, nel caso di uso delle Costellazioni ruotate.

La maggiore innovazione introdotta dallo standard T2 rispetto al precedente T è l'***interleaving temporale*** (figura 16), con il compito di separare le celle appartenenti ad un blocco di codifica FEC su più simboli OFDM e potenzialmente su più trame. Questo permette di proteggere il segnale contro disturbi di tipo impulsivo, concentrati nel tempo (dovuti ad esempio al rumore impulsivo) e nel caso di canali tempo varianti. E' basato su un interleaver a blocco (righe-colonne) e per risparmiare memoria nel ricevitore, l'interleaver di tempo è applicato a livello di PLP. L'interleaver viene"caricato" per la durata di una trama (circa 200 ms), e si riempie più o meno a seconda del bit-rate istantaneo del PLP (numero intero di blocchi FEC): ritardo costante, indipendente dal bit-rate. La dimensione massima è di 500 Kcelle, equivalente a circa 10 Mbit nel ricevitore (soft-decision). Per un singolo PLP, la profondità di interleaving per un servizio HDTV è dell'ordine dei 60-70 ms (circa 10-20 simboli 32K-OFDM). Per servizi a basso bit-rate (es: TV mobile) trasportati da PLP multipli, la memoria disponibile permette una diversità temporale di molte trame.

Infine, per contrastare il fading selettivo in frequenza, così come il DVB-T, anche il DVB-T2 introduce l'***interleaver di frequenza***, con struttura a blocco a livello di simbolo OFDM e regola di interallacciamento di tipo pseudocasuale. La sua struttura pseudocasuale aiuta a rompere la regolarità dell'interleaver di tempo, e sparpaglia i dati associati alle portanti dei simboli OFDM in modo casuale. La regola di interallacciamento alterna tra due permutazioni, e ciò permette di aumentare la distribuzione dei PLP sulle varie portanti. Inoltre l'interleaver di frequenza mescola le celle appartenenti ai diversi PLP, trattate dagli altri interleaver indipendentemente, PLP per PLP.

10. Sincronizzazione e stima del canale

Il segnale DVB-T2 è progettato in modo tale da facilitare la sincronizzazione dei ricevitori in tempo e frequenza. Ciascuna trama è suddivisa in ***preambolo*** e ***payload***, così come riportato graficamente in figura 15.

Il ***preambolo*** è costituito da un simbolo denominato P1 e da un certo numero di simboli P2, dipendente dalla dimensione della FFT utilizzata: per sistemi con 32K e 16K vi è solamente un simbolo P2; per sistemi 8K, 4K, 2K e 1K sono presenti rispettivamente 2, 4, 8 e 16 simboli P2.

Segue il ***payload*** vero e proprio, (anche se alcuni dati possono essere già trasportati da simboli P2) che consiste di simboli OFDM le cui sottoportanti possono essere modulate da simboli di dati o da simboli pilota predefiniti.

In linea di principio, una struttura di trama come quella riportata in figura 15 non è strettamente necessaria in ambiente di trasmissione broadcast continua. Il precedente standard DVB-T, infatti, non prevede nessun preambolo nelle relative trame. Tuttavia l'uso del preambolo consente di ottimizzare le operazioni di sincronizzazione e di ampliare la possibile scelta dei parametri trasmissivi senza che ciò influenzi il tempo necessario alla sincronizzazione. Inoltre ciò non attacca la capacità trasmissiva del sistema: per una durata tipica del frame di 150-200 ms, l'overhead complessivo dovuto ai simboli P1 e P2 è inferiore all'1%.

10.1 Il simbolo P1

Il simbolo P1 è costituito da un simbolo OFDM su 1K portanti e da una particolare struttura di replicazione nel tempo, come illustrato in figura 17. La sezione indicata con C è la versione traslata in frequenza dei primi 542 campioni del simbolo OFDM che costituisce la sezione indicata con A. La sezione B è invece la versione traslata in frequenza degli ultimi 482 campioni della parte A. La traslazione in frequenza risulta pari alla spaziatura delle sottoportanti del simbolo OFDM. Solo 384 delle 1024

portanti sono modulate, secondo la modulazione differenziale DBPSK, e trasportano 7 bit di segnalazione, che indicano la modalità di trasmissione, la configurazione SISO/MISO e la dimensione dell'FFT. La struttura prefissata del simbolo P1, con le limitate informazioni di segnalazione trasferite in modalità estremamente robusta, consente al ricevitore di effettuare una scansione veloce delle frequenze trasmissive.

Fig. 17 - Formato e rappresentazione in frequenza del simbolo P1.

La rivelazione del simbolo P1 può essere utilizzata dal ricevitore come primo riferimento in tempo e frequenza. Il ricevitore può pertanto rilevare la presenza di una trasmissione DVB-T2 ed acquisire alcuni parametri chiave quali la dimensione della FFT o la presenza di Frame FEF. La particolare struttura C-A-B è stata definita per incrementare la capacità di rivelazione del simbolo P1 anche nei canali più critici come quelli con eco a 0 dB nei quali cioè gli echi risultano in opposizione di fase.

10.2 I simboli P2

I simboli P2 trasportano la segnalazione di livello 1 della trasmissione, L1, che, in presenza di PLP multipli, può essere quantitativamente rilevante, in quanto ciascuno di essi può possedere propri parametri di trasmissione.

La segnalazione L1 è organizzata in una parte di pre-segnalazione, contenente informazioni di tipo statico, costanti per tutta la durata del super-frame (ad esempio la dimensione dell'intervallo di guardia), ed una parte post-segnalazione, contenente informazioni di tipo dinamico. Possono poi essere aggiunte ulteriori informazioni riguardanti ad esempio dati comuni di tipo PSI/SI relativi ai servizi trasportati nel payload. La protezione della parte di pre-segnalazione è basata su un codice BCH seguito da codice LDPC punturato. La scelta del codice LDPC potrebbe sembrare insolita vista la ridotta lunghezza della parola di codice. Tuttavia la configurazione adottata garantisce prestazioni equivalenti a quelle ottenibili con un codice convoluzionale con lo stesso rate e evita la necessità di inserire un decodificatore Viterbi nel ricevitore, da usarsi solo per decodificare la segnalazione L1. La parte di post-segnalazione è protetta con lo stesso codice FEC dei dati.

I simboli P2 contengono anche le portanti pilota e permettono di iniziare la procedura di stima di canale, descritta nel prossimo capitolo.

Un esempio di struttura completa della trama dei simboli P2 è riportato in figura 18.

10.3 Configurazioni di segnali pilota

Anche lo standard DVB-T2, come il precedente DVB-T, prevede la dispersione in tempo e frequenza di portanti pilota "scattered" (SP) e continue (CP),

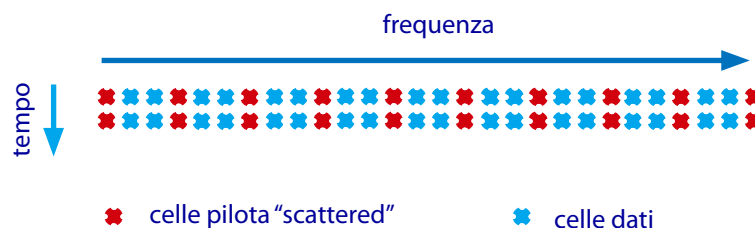



Fig. 18 - Simboli P2 nella modalità 8K; nella figura sono anche riportate le "celle pilota".

cioè di "celle dati OFDM" di prefissate ampiezza e fase trasmesse ad intervalli regolari per consentire al ricevitore di stimare le variazioni del canale trasmissivo ed effettuare le opportune compensazioni in tempo e frequenza. Le SP hanno come compito principale quello di permettere una stima affidabile del canale di trasmissione, e a differenza del DVB-T, che prevedeva una sola configurazione di portanti pilota "scattered" per tutti i valori di intervalli di guardia, nel DVB-T2 ne sono definite 8, con distanza tra le portanti circa uguale all'inverso della durata dell'intervallo di guardia.

Le CP invece sono utilizzate per il recupero "fine" di frequenza nel ricevitore e per la rimozione dell'errore di fase comune (CPE) sul simbolo OFDM. Come già per il DVB-T, la percentuale di CP dipende dalla dimensione della FFT:

- ~2.5% per 1K, 2K;
- ~0.7% per 8K, 16K, 32K.

Sia le SP che le CP sono trasmesse a potenza maggiorata (tre sono i possibili fattori di incremento della potenza, fino a 7 dB) in funzione della densità per ottimizzare il rapporto C/N della stima del canale.

Solo nel simbolo P2 la struttura delle portanti pilota è fissa e pari a quella del massimo intervallo di guardia possibile, che si assume possa essere acquisito con l'impiego di metodi tradizionali basati su operazioni di correlazione. Il simbolo pilota e la posizione delle sottoportanti nel simbolo P2 sono indipendenti dagli altri parametri di trasmissione come ad esempio l'estensione di banda (§ 7.6) ed i metodi PAPR (§ 11.2).

Lo standard DVB-T2 prevede opzioni nelle quali è trasmesso un numero ridotto di simboli pilota nel payload (esempio PP8 in tabella 2) e la stima di canale si basa sulla stima iniziale fornita dal simbolo P2 e seguita da stime (DA), basate sui dati ricevuti, demodulati e corretti, che ricodificati e modulati agiscono come portanti pilota note. Questo metodo, denominato CD3, è stato svilippato dal Centro Ricerche Rai [13,14] e consente una trasmissione molto efficiente, adatta soprattutto in configurazioni SFN, dove gli echi sono generalmente molto lunghi ed un profilo di portanti pilota ad alta densità in frequenza sarebbe necessario in alternativa per una stima corretta della funzione di trasferimento del canale.

Come per il DVB-T il valore assunto dalle celle pilota $p_{n;k}$, SP o CP, dipende dall'indice della portante k, ma a differenza del DVB-T, essi dipendono anche dall'indice n del simbolo OFDM. Tutti i simboli pilota (CP, SP, P2) in ogni simbolo OFDM sono moltiplicati per 1 o -1 conformemente ad una sequenza pseudo casuale a livello di trama.

Ciò consente un approccio alternativo e più robusto relativamente alla sincronizzazione di trama, in grado di fornire la posizione attuale all'interno della trama anche nel caso in cui il preambolo venga perso a causa per esempio di un forte rumore di tipo impulsivo.

Inoltre, gli algoritmi di sincronizzazione possono sfruttare questa sequenza a livello di trama per stimare e monitorare la sincronizzazione a livello di clock, simbolo, frequenza e trama.

Tutto ciò può avvenire senza nessuna influenza sulla qualità della stima di canale.

11. Ulteriori caratteristiche a radiofrequenza

11.1 Trasmissione con antenne multiple

Lo standard DVB-T2, come già il DVB-T, consente la trasmissione simultanea del segnale sulla stessa frequenza da parte di differenti trasmettitori al fine di realizzare una rete a singola frequenza SFN. Garantendo stringenti requisiti di sincronizzazione, in una rete SFN i ricevitori "vedono" un canale equivalente ottenuto per sovrapposizione dei canali relativi a più trasmettitori. Una delle criticità della modalità SFN si presenta ove si riscontri la presenza di due segnali di livello elevato provenienti da due trasmettitori distinti di una stessa rete, il che determina una significativa riduzione di margine in quanto il canale risultante può presentare profondi "buchi" (notches) nello spettro di frequenza.

Lo standard DVB-T2 introduce, come opzione, l'uso di una strategia che prevede la trasmissione di due segnali differenti da parte di due trasmettitori adiacenti, secondo la tecnica di Alamouti [15]. Si tratta di un approccio efficiente per sfruttare la presenza di molteplici antenne trasmissive, utile anche nel caso in cui il ricevitore sia equipaggiato con un'antenna singola (MISO). Con ciò si ottiene un incremento di copertura in reti SFN.

I segnali delle due antenne trasferiscono gli stessi dati ma codificati in maniera differente in spazio e frequenza" (SF coding), secondo una variante della tecnica Alamouti, in modo tale che, in ricezione, sia possibile combinarli in maniera semplice per ottenere la decodifica ottima dei simboli originali.

Si ricorda che la codifica di Alamouti (codice spazio temporale a blocchi 2x1 ortogonale) è stata originariamente proposta per la realizzazione di sistemi con trasmissione in diversità "con codifica in spazio-tempo" (ST coding) [16] rappresentabili da una matrice come quella riportata in figura 19 in cui le colonne rappresentano antenne adiacenti e le ordinate rappresentano istanti temporali consecutivi. L'elemento (i,j) della matrice rappresenta il simbolo trasmesso dall'antenna i all'istante temporale j.

La trasformazione della codifica di Alamouti al dominio Spazio Frequenza con uso della tecnica OFDM è piuttosto immediata: in figura 20 [4] è illustrato graficamente lo schema del DVB-T2, dove si è adottata una versione modificata della tecnica di Alamouti nel dominio Spazio-Frequenza che consente di trasmettere il segnale dal primo trasmettitore invariato rispetto alla trasmissione SISO convenzionale. Si sono indicati con s1 ed s2 i due punti della costellazione utilizzata dal sistema, corrispondenti a due simboli consecutivi nello flusso di dati da trasmettere. Il primo trasmettitore invia i valori s1 e s2 utilizzando, nell'n-esimo blocco OFDM, i gruppi di sottoportanti indicati con k ed l rispettivamente; il secondo trasmettitore invece, nell'n-esimo blocco OFDM invia -s2* e s1* (si indica con il simbolo * il complesso coniugato) utilizzando rispettivamente i gruppi di frequenze k ed l.

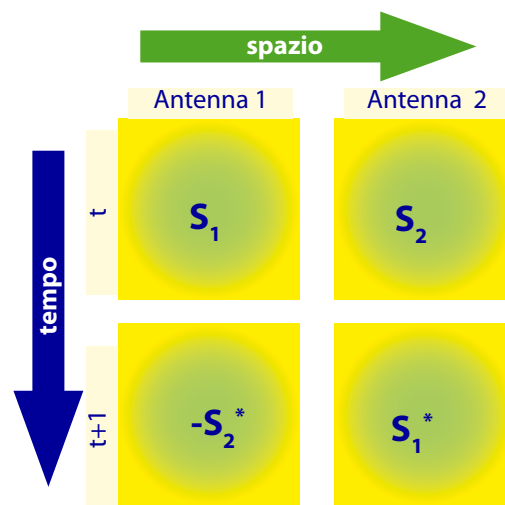



Fig. 19 - Codifica di Alamouti in Spazio (due antenne trasmittenti) - Tempo.

Con ciò il ricevitore si trova in una situazione di ricezione simile al caso di codifica Spazio-Tempo, in cui dai segnali ricevuti è possibile ricavare in maniera semplice la combinazione per la decodifica ottima dei simboli originali.

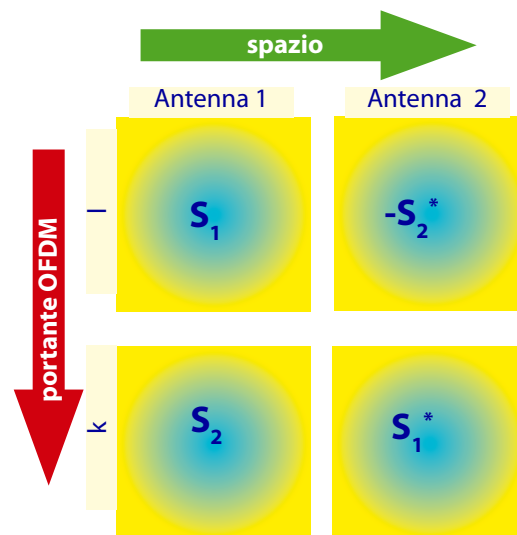



Fig. 20 - Estensione della codifica di Alamouti in Spazio (due antenne trasmittenti) - Frequenza (gruppi di frequenze distinti dello stesso blocco OFDM).

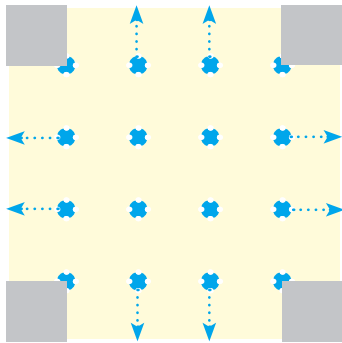



Fig. 21 - Tecnica ACE.

Questa tecnica fornisce prestazioni equivalenti ad una ricezione in diversità. Nel caso di ricezione in diversità infatti il ricevitore opera una combinazione ottima per la decodifica dei due segnali ricevuti distintamente (la tecnica è la cosiddetta two branch MRRC). Così facendo ricava un segnale uguale a quello che potrebbe essere ricevuto da un ricevitore (non operante in diversità), risultante dalla combinazione, nel canale radio, di due opportuni segnali trasmessi, circostanza questa che corrisponde proprio a ciò che accade nella trasmissione in diversità.

La complessità aggiuntiva di tale tecnica si traduce nell'inclusione di un numero ridotto di moltiplicatori e non è quindi significativa.

Tuttavia per una stima efficiente delle risposte dei canali h1 e h2 è anche necessario prevedere modifiche alle configurazioni pilota. Il DVB-T2 usa la stessa configurazione delle portanti pilota del caso SISO, ma corrispondenti ad intervalli di guardia dimezzati. I trasmettitori che funzionano come antenna 1 usano la stessa struttura di portanti pilota della configurazione SISO, mentre i trasmettitori che rappresentano l'antenna 2 invertono il valore trasmesso da una portante pilota su due.

L'uso di tale tecnica previene fenomeni di fading piatto in ricezione ed analisi preliminari predicono un incremento dell'ordine del 30% nell'area di copertura di una rete SFN.

11.2 Riduzione del rapporto tra picchi del segnale e potenza media

All'aumentare del numero di portanti, il segnale OFDM tende sempre più ad assomigliare a rumore Gaussiano, con la conseguenza che il rapporto tra potenza di picco e potenza media (PAPR) risulta elevato. Ciò impone dei vincoli sul funzionamento degli amplificatori di potenza nei trasmettitori, che provocano una riduzione dell'efficienza degli stessi. La riduzione del rapporto tra picchi del segnale e potenza media permette di usare amplificatori con valori di back-off (rapporto tra la potenza d'uscita dell'amplificatore e la sua potenza massima) ridotti.

Nello standard DVB-T2 è previsto, allo scopo, l'uso combinato di due tecniche:

- ACE che prevede una distorsione delle costellazioni di modulazione, muovendo i punti più esterni delle costellazioni trasmesse verso locazioni ad ampiezza maggiore (figura 21). La tecnica ACE riduce il PAPR senza perdita di capacità, ma non è utilizzabile nel caso di rotazione delle costellazioni e CD3.
- TR che prevede la cancellazione dei picchi direttamente nel dominio temporale mediante un insieme di kernel di tipo impulsivo costruiti mediante una piccola percentuale (1%) di portanti riservate e non utilizzate per la trasmissione dei dati: sono modulate con ampiezza e fase opportuna per evitare picchi di ampiezza sul segnale OFDM. Il metodo TR adottato dal DVB-T2 riserva allo scopo alcune portanti riducendo così leggermente la capacità trasmissiva. Queste sono utilizzate per trasferire opportuni valori che consentono la sintesi di una forma d'onda in grado di cancellare i picchi di segnale rilevati.

Le due tecniche sono complementari nel senso che la tecnica ACE presenta prestazioni migliori con modulazioni di ordine più basso, mentre TR opera più efficacemente con costellazioni di ordine più elevato. Non essendo mutuamente esclusive queste possono essere convenientemente applicate in maniera combinata consentendo di ottenere una

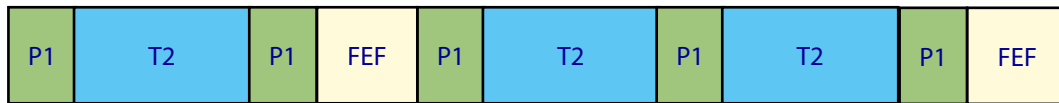



Fig. 22 - Coesistenza di trame fisiche T2 e trame fisiche FEF.

riduzione di circa il 20% del fabbisogno di potenza di picco del sistema.

11.3 Supporto di larghezze di banda 1,7 MHz e 10 MHz

Per rendere lo standard DVB-T2 adatto anche per usi professionali (ad esempio per trasmissione tra telecamere e studi) è stata prevista l'opzione di larghezza di banda pari a 10 MHz (come già nel DVB-T). È stata aggiunta anche l'opzione di larghezza di banda pari a 1,7 MHz per poter adottare lo standard anche nel caso di canalizzazioni più strette (ad esempio in banda III e in banda L).

11.4 Trame per estensioni future (FEF)

Nello standard DVB-T2 è stata prevista una sintassi che renda aperta la specifica a futuri sviluppi. Tali sono le cosiddette trame per estensioni future (FEF). L'unico attributo di questo tipo di trame è la presenza del simbolo P1 e l'indicazione della durata temporale della trama stessa (figura 22). Con ciò i ricevitori di prima generazione sono in grado di ignorare le trame FEF.

11.5 Transmitter identification

Per consentire l'identificazione del trasmettitore che emette un segnale T2 si aggiunge al segnale principale un segnale di livello basso (-40dB) che convoglia tale informazione.

Questo risulta particolarmente importante per i ricevitori di tipo professionale, in quanto consente, ad esempio, di identificare eventuali guasti in una rete SFN.

12. Simulazioni della prestazioni e confronto con il DVB-T

Il DVB-T2 è caratterizzato da una molteplicità di modi di funzionamento, che consentono di variare il bit rate su canali da 8 MHz approssimativamente da 7 Mbit/s a 50 Mbit/s e corrispondentemente il rapporto segnale rumore richiesto su canale AWGN da 1 dB a 22 dB (su canali affetti da fading da 2 dB a 26 dB), a seconda del livello di rumore e dalle statistiche di canale.

La figura 23 riporta le prestazioni del sistema confrontate con il limite teorico di capacità del canale e con il sistema di prima generazione DVB-T. I dati della figura sono tratti da [17] e confrontano su canale AWGN, assumendo demodulazione ideale, non tenendo conto dell'intervallo di guardia e delle portanti pilota, né dei simboli di segnalazione[Nota 3].

Il guadagno in efficienza spettrale offerto dal nuovo schema di codifica LDPC-BCH rispetto alla concatenazione convoluzionale-RS è pari a circa il 25%. Il guadagno in termini di rapporto segnale rumore C/N varia da 3 a 4 dB.

La scelta di alcuni parametri, come la dimensione dell'FFT, l'intervallo di guardia e la configurazione

Nota 3 - Si tenga comunque conto che grazie alle configurazioni ottimizzate delle portanti pilota del DVB-T2, la perdita di prestazioni del DVB-T2 nelle implementazioni reali sarà nettamente minore rispetto al DVB-T.

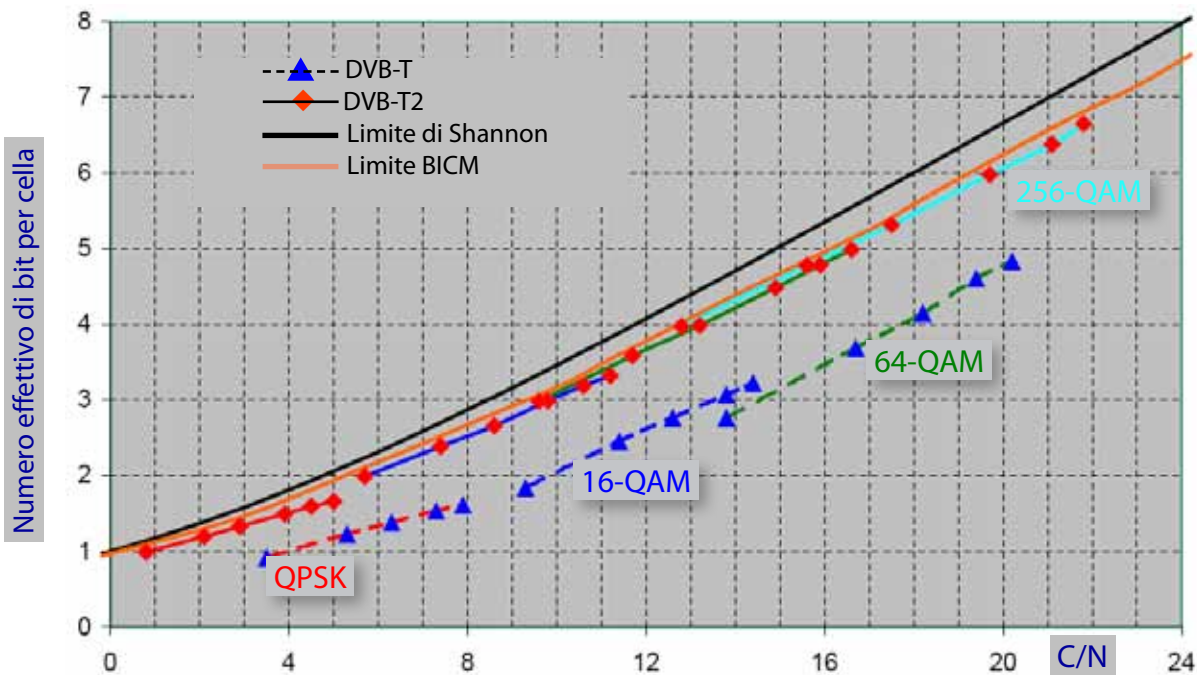



Fig. 23 Capacità del DVB-T e del DVB-T2 a confronto.

di portanti pilota, è dettata da esigenze di pianificazione di rete (MFN vs. SFN) e da tipologia di servizio (ricezione fissa, portatile o mobile). I parametri generalmente consigliati sono:

- in ricezione fissa 32K FFT (adatto ad un canale abbastanza statico) con intervallo di guardia 1/128 per reti MFN e da 1/16 fino a 19/128 (532 µs) per reti SFN. In entrambe i casi la configurazione si completerebbe con la modulazione 256-QAM con code rate 3/5 o 2/3. Il tutto per una capacità di 36 ÷ 40 Mbit/s per MFN e 29 ÷ 38 Mbit/s per SFN;
- Per ricezione portatile o mobile FFT di minore grandezza e costellazioni più robuste. Ad esempio: 8K FFT e 64-QAM con code rate 1/2 or 3/5 assicurano la ricezione in canali più dinamici e con un rapporto segnale/rumore inferiore. Il tutto per una capacità di 16 ÷ 26 Mbit/s a seconda degli altri parametri scelti.

La tabella 2, tratta da [17], riporta le capacità disponibili per sistemi DVB-T2 (con larghezza di banda 8MHz e trasmissione con antenna singola), tabulate per dimensione della FFT 32K, con intervallo di guardia di 1/128 e 1/16, rispettivamente con configurazione di portanti pilota PP7 e PP8, il tutto per differenti valori di FEC rate e dimensione della costellazione (16, 64, 256 QAM).

Configurazione	FEC rate	bit rate [Mbit/s]		
		16 QAM	64 QAM	256 QAM
32K FFT 1/128 CP PP7	3/5	18,1	27,0	36,1
	2/3	20,1	30,2	40,2
	3/4	22,6	33,8	45,2
	4/5	24,1	36,1	48,3
	5/6	25,2	37,8	50,3
32K FFT 1/16 CP PP8	3/5	17,0	25,6	34,2
	2/3	18,9	28,5	38,1
	3/4	21,3	32,1	42,9
	4/5	22,8	34,2	45,7
	5/6	23,7	35,7	47,7

Tab. 2 - Bit-rate ottenibili per alcune configurazioni di DVB-T2.

	Modalità corrente DVB-T nei MUX nazionali MFN	Esempio DVB-T2
Canale RF	8 MHz	8 MHz
Modulazione	64 QAM	256 QAM
Dimensione FFT	8K	32K
Intervallo di guardia (CP)	1/32	1/128
FEC	2/3 CC + RS	3/5 LDPC + BCH (0,3%)
Config. Scattered Pilots	—	PP7
% overhead per Scattered Pilots	8 %	1 %
% overhead per Continual Pilots	3 %	0,53 %
% overhead per P1 / P2	0 %	0,7 %
Occupazione banda	normale	estesa
SNR in ricezione	17 dB	17 dB
Capacità netta	24,1 Mbit/s	36,1 Mbit/s
Guadagno in capacità		49,6 %
n. Programmi SDTV	≈ 5 MPEG-2	≈ 16 MPEG-4 AVC
n. Programmi HDTV		≈ 4 MPEG-4 AVC

Tab. 3 - Valutazione di una configurazione tipica di MFN adottata in Italia e relativo confronto con una equivalente in DVB-T2.

	Modalità corrente DVB-T nei MUX nazionali SFN	Esempio DVB-T2
Canale RF	8 MHz	8 MHz
Modulazione	64 QAM	256 QAM
Dimensione FFT	8K	32K
Intervallo di guardia (CP)	1/4	1/16
FEC	2/3 CC + RS (8%)	3/5 LDPC + BCH (0,3%)
Config. Scattered Pilots	—	PP7
% overhead per Scattered Pilots	8 %	1 %
% overhead per Continual Pilots	3 %	0,53 %
% overhead per P1 / P2	0 %	0,7 %
Occupazione banda	normale	estesa
SNR in ricerzione	17 dB	17 dB
Capacità netta	19,9 Mbit/s	34,2 Mbit/s
Guadagno in capacità		72 %
n. Programmi SDTV	≈ 4 MPEG-2	≈ 15 MPEG-4 AVC
n. Programmi HDTV		≈ 4 MPEG-4 AVC

Tab. 4 - Valutazione di una configurazione tipica di SFN adottata in Italia e relativo confronto con una equivalente in DVB-T2.

12.1 Confronto tra configurazioni tipiche MFN e SFN

A titolo di esempio vengono presentate alcune configurazioni di rete tipiche, e viene illustrato il beneficio ottenibile con l'utilizzo del nuovo standard DVB-T2 in sostituzione al DVB-T.

Un primo esempio, illustrato in tabella 3, rappresenta parametri tipici adottati in Italia per una configurazione MFN di multiplex DVB-T: corrispondentemente, per un sistema DVB-T2, è stato scelto di massimizzare l'efficienza spettrale a parità delle altre condizioni al contorno.

Risultano evidenti il guadagno (+ 50 %) in capacità ed il corrispondente aumento di programmi irradiabili (circa il triplo a parità di qualità oppure poco meno del medesimo numero scegliendo di irradiare HDTV al posto di SDTV).

Un secondo esempio riguarda una tipica configurazione SFN, anche questa mirata alla situazione nazionale corrente. I dati, illustrati in tabella 4, confrontano la tipica configurazione SFN DVB-T adottata in Italia, con una corrispondente soluzione DVB-T2.

La configurazione DVB-T determina una capacità trasmissiva di 19,9 Mbit/s su canale fisso con SNR di 17 dB. Nelle medesime condizioni del canale, un sistema DVB-T2 con banda estesa e parametri 32K FFT, 1/16 CP, PP8, 256 QAM e LDPC code rate pari a 3/5, fornisce una capacità trasmissiva di 33.3 Mbit/s, con un guadagno del 72%.

13. Conclusioni

Dalle specifiche DVB-T2 illustrate in precedenza emergono una serie di considerazioni di carattere generale.

- Si tratta di un ottimo standard che richiede però uno sviluppo completamente nuovo di tutta l'elettronica per la codifica di sorgente e di canale, pertanto sarà necessaria la sostituzione degli IRD domestici.
- Si presenta come uno standard stabile (con improbabili evoluzioni a tempi brevi) perché l'efficienza spettrale è prossima al limite teorico (Shannon). L'impegno per la sostituzione degli IRD, sarà quindi compensato da una loro lunga durata nel tempo.
- I siti di trasmissione e gli impianti d'antenna domestici non dovrebbero richiedere modifiche.
- Lo standard è molto flessibile, sia in termini di varietà dei dati in ingresso (non limitati al TS) sia per la possibilità di rendere più robusta la trasmissione di servizi/programmi di particolare interesse o destinati ad un'utenza in condizioni critiche di ricezione.
- Lo standard rappresenta il driver per l'introduzione dei servizi HDTV. L'impiego dello standard DVB-T2 congiuntamente a codifiche video di ultima generazione (MPEG-4 AVC) consente di ottenere un guadagno di capacità trasmissiva utilizzabile per introdurre servizi HDTV quasi a costo nullo in termini di occupazione di banda.

Tali aspetti sembrano costituire i punti chiave che determineranno nel prossimo futuro il possibile successo dello standard.

Bibliografia

1. G.F. Barbieri, "Gli standard DVB: dalla TV generalista ai servizi multimediali interattivi", Elettronica e Telecomunicazioni, dicembre 2004.
2. ETSI EN 302 307 V1.1.2 (2006-06), "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications".
3. A. Morello, V. Mignone, "Il sistema DVB-S2 di seconda generazione per la trasmissione via satellite e Unicast", Elettronica e Telecomunicazioni, Dicembre 2003.
4. Draft ETSI EN 302 755 V1.1.1 (2008-10), "Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)".
5. N. Benvenuto, A. Filippi, V. Mignone, A. Morello, C. Nokes, J. Stott, S. Tomasin, L. Vangelista, M. Vlot, "Key technologies of the DVB-T2 standard" – di prossima pubblicazione in IEEE Comm. Magazine.
6. ISO/IEC 14496-10:2008, "Information Technology - Coding of audio visual objects - Part. 10: Advaced Video Coding.
7. M. Barbero, N. Shpuza, "Advanced Video Coding (AVC - H.264): il prossimo futuro", Elettronica e Telecomunicazioni, aprile 2003
8. D. Marpe, T. Wiegand, G. J. Sullivan, "The H.264/MPEG4 Advanced Video Coding Standard and its Applications", IEEE Comm. Magazine, agosto 2006.
9. "DVB-T2 Call for Technologies" – DVB Document SB 1644r1 – aprile 2007.
10. R. Gallager: "Low Density Parity Check Codes" – IRE Trans. on Info. Theory, gennaio 1962
11. B. Le Floch, M. Alard, and C. Berrou, "Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex", in Proc. IEEE, Vol. 83(6):587–592, giugno 1986.
12. V. Mignone, "La modulazione COFDM", Elettronica e Telecomunicazioni, dicembre 2005
13. V. Mignone, A. Morello, "CD3-OFDM: a novel demodulation scheme for fixed and mobile receivers", in IEEE Transaction on Communications, vol. 44, 279 n. 9, settembre 1996
14. V. Mignone, A. Morello, B. Sacco, M. Visintin, "CD3-OFDM: una soluzione avanzata per i servizi DVB-T su rete isofrequenza", Elettronica e Telecomunicazioni, n.2, agosto 2002.
15. Alamouti, S.M., "A simple transmit diversity technique for wireless communications ," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.16, 277 no.8, pp.1451-1458, ottobre 1998.
16. Wei Zhang, Xiang-Gen Xia, Khaled Ben Letaief, "Space-Time/Frequency Coding For Mimo-OFDM In Next Generation Broadband Wireless Systems", IEEE Wireless Communications, giugno 2007
17. Draft ETSI TR 102 831, "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2)

Appendice

1.1 Time Frequency Slicing (TFS)

L'annesso E dello standard [4] illustra la tecnica TFS che fornisce la possibilità di distribuire un multiplex su un certo numero di frequenze collegate. L'annesso è solo informativo, non esiste pertanto vincolo di implementazione nei decoder.

Con questa tecnica il ricevitore d'utente "insegue" il programma selezionato dall'utente "saltando" da un canale all'altro in modo sincronizzato. Per far ciò è necessario che il decoder disponga di due sezioni per la sintonia a radiofrequenza e demodulazione.

Da lato operatore, si tratta di una tecnica utilizzabile solo quando gestisce più canali a radiofrequenza, con tecnica DVB-T2, dai medesimi siti di trasmissione, esattamente con la stessa copertura.

La TFS permette di ottenere un guadagno di rete, legato al fatto che la propagazione del segnale è diversa nei vari canali RF. Il segnale, saltando da una frequenza all'altra, poi rimescolato dall'interleaver temporale, può recuperare eventuali porzioni sotto soglia di rumore. In una configurazione con 4 canali RF il guadagno può essere di 2-3 dB, corrispondente ad un incremento di bit-rate del 20-25%.

Fig. A1 - Esempio di "inseguimento" ottenuto applicando il TFS su 4 canali a radiofrequenza.

Un ulteriore vantaggio è ottenibile grazie alla multiplazione statistica. Un programma, a qualità audio-video costante, richiede un bit-rate trasmissivo variabile a seconda della complessità della scena. E' quindi possibile variare dinamicamente la porzione di capacità di un multiplex assegnata ai singoli programmi che lo compongono in modo da ottimizzare la loro qualità e contemporaneamente minimizzare il bit-rate medio per programma. Il guadagno legato alla multiplazione statistica è tanto più significativo quanto più ampio è il numero di programmi a cui si applica e di conseguenza quanto più grande è la capacità del multiplex in termini di bit-rate totale.

La tecnica TFS, che consente di accorpare le risorse dedicate a più multiplex in un multiplex unico con capacità pari alla loro somma, è quindi in grado di fornire un significativo guadagno nella multiplazione statistica dei flussi.

Si può quindi ipotizzare che, se un programma HDTV MPEG-4 AVC richiede 10 Mbit/s: quattro-cinque programmi multiplati statisticamente richiedano 8.5 Mbit/s medi ciascuno (guadagno 15%); 10 programmi richiedano 7.5 Mbit/s medi ciascuno (guadagno 25%) e 20 programmi richiedano 7 Mbit/s medi ciascuno (guadagno 30%).

Nell'esempio in figura A1, quattro canali RF da 34 Mbit/s costituiscono, utilizzando la tecnica TFS, un unico multiplex statistico da 136 Mbit/s, quindi in grado di supportare 19 programmi HDTV. Nella configurazione convenzionale, i quattro canali RF separati hanno ciascuno una capacità di 34 Mbit/s (sufficiente per 4 programmi HDTV a 8,5 Mbit/s medi) e quindi la capacità totale, considerando i 4 multiplex, è pari a "solo" 16 programmi HDTV.